

# Smrt mozku

**doc. MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.<sup>1,2</sup>, prof. MUDr. Štefan Sivák, PhD.<sup>3</sup> – editoři hlavního tématu**

<sup>1</sup>Neurologické oddělení, Nemocnice České Budějovice, a. s., České Budějovice

<sup>2</sup>Neurochirurgická a neuroonkologická klinika 1. LF UK v Praze a ÚVN – VFN, Praha

<sup>3</sup>Neurologická klinika JLF UK a UNM, Martin

Ve vydání časopisu *Neurologie pro praxi*, které se Vás dostává do ruky, bude řeč o diagnóze smrti dle neurologických kritérií, v originále: „brain death/death by neurologic criteria“ (BD/DNC).

Je velmi obtížné si v medicíně představit test, vyšetření, které není zatíženo falešnou pozitivitou, resp. negativitou. Diagnostika smrti mozku je natolik specifickou klinickou situací, kde falešně pozitivní výsledek není přípustný. Tzn. nesmí být prohlášen za mrtvého pacient, u kterého smrt skutečně nenastala. Historie důležitosti dodržení této podmínky pouze potvrzuje.

„Smrt člověka je prirodzená súčasť kolobeihu života, finálna fáza bytia“ – takto začíná článok o mozgovej smrti od bratislavských autorov z roku 2015 v hlavnej téme *Neurológie pre prax* (Martinková et al., 2015). Za tých 10 rokov sa legislatívny rámec diagnostiky mozgovej smrti v Českej a Slovenskej republike výraznejšie nezmenil. To, čo sa však za tých 10 rokov zmenilo, je šírka vedeckého poznania, o ktoré sa môže zainteresovaný klinik oprieť počas celého procesu diagnostiky mozgovej smrti (BD – brain death) alebo diagnostiky smrti podľa neurologických kritérií (DNC – death by neurologic criteria).

Preto sme si so spoluautormi dali za cieľ priniesť v hlavnej téme predkladaného čísla najnovšie poznatky týkajúce sa medicínskej diagnostiky mozgovej smrti.

Stanovení smrti mozku je především diagnóza klinická. Způsob klinického neurologického vyšetření i interpretace klinického nálezu mají být shodné bez ohledu na to, kým bylo vyšetření provedeno.

Avšak legislativa spojená zejména s dárcovským programem se regionálně liší, ačkoliv jinak národy k sobě mohou mít velice blízko. Značná míra odlišnosti je v potřebě pomocných „potvrzujících vyšetření“. Pro potvrzující vyšetření platí stejná podmínka, jako pro vyšetření klinické. Proto metodika provedení i hodnocení musí být standardizovaná a jednotná.

V úvodnom článku uvádzame problematiku definovania a stanovovania smrti jedinca do širšieho historického kontextu – od novoveku až po súčasnosť. V druhom článku popisujeme právny rámec a samotný postup diagnostiky mozgovej smrti v Českej a Slovenskej republike, ako aj ich vzájomné porovnanie. Súčasťou článku je aj diskusia o úvodných predpokladoch a kontraindikáciách diagnostiky BD/DNC. Som veľmi rád, že za českú stranu prijala spolugaranciu na článku doc. MUDr. Eva Pokorná, CSc. z Transplantcentra IKEM-u. Správna metodika klinického neurologického vyšetrenia a apnoického testu je predmetom tretieho článku MUDr. Hollého. Posledné dva články sú venované potvrdzujúcim (konfirmačným) vyšetreniam mozgovej smrti. Štvrtý článok definuje presnú metodiku evokova-

Cílem kolektivů autorů bylo přinést ucelenou informaci o podmínkách a metodice především klinické neurologické diagnostiky, a některých pomocných vyšetření. Autoři mají za to, že detailní popis s názornými ukázkami vyšetření kmenových reflexů umožní zakotvit jednotu v klinickém vyšetřování i správnost interpretace klinického nálezu. Metodicky správně provedené vyšetření by pak mělo být spolehlivou oporou pro další rozhodování kliniků.

*doc. MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.*

ných potenciálov a piaty sa venuje významu, výhodám a nevýhodám jednotlivých zobrazovacích metód v diagnostike BD/DNC.

Chcel by som poďakovať spolugarantovi hlavnej témy, primárovi doc. MUDr. Svatoplukovi Ostrému, Ph.D., za spoluprácu a obohacujúce diskusie, ako aj všetkým spoluautorom za námahu, ktorú venovali príprave svojich článkov.

Prajem čitateľom, aby sa im táto vážna téma dobre čítala a aby v článkoch našli veľa zaujímavých a podnetných informácií.

#### LITERATURA

1. Martinková J, Chrastina M, Cingelová M, Valkovič P. Mozgová smrť – medicínske aspekty, legislatívne normy v Slovenskej republike. *Neurol. praxi*. 2015;16(3):140-143.

*prof. MUDr. Štefan Sivák, PhD.*



# 22.

## symposium praktické neurologie

5.–6. 6. 2025  
BRNO

- Účast bude v rámci celoživotního postgraduálního vzdělávání dle Stavovského předpisu č. 16 ČLK ohodnocena kredity pro lékaře

### MÍSTO KONÁNÍ

- **Hotel International Brno**  
Husova 200/16, 602 00 Brno

### PREZIDENT AKCE

- prof. MUDr. Ivan Rektor, CSc., FCMA, FANA, FEAN

### REGISTRAČNÍ POPLATEK

- od 1. 4. 2025: **2 400 Kč**
- při registraci na místě: **2 700 Kč**
- **40% sleva** pro lékaře do 35 let

### POŘADATEL A KONTAKT

- Společnost SOLEN, s. r. o.,  
ve spolupráci s I. neurologickou klinikou  
LF MU a FN u sv. Anny Brno;  
Centrem neurověd, CEITEC MU Brno
- Markéta Slezáková  
721 135 146, slezakova@solen.cz

Další informace na  
[www.neubrno.cz](http://www.neubrno.cz)

## ČTVRTEK 5. 6. 2025

## PROGRAM

9.00 Slavnostní zahájení

### Prionová onemocnění

odborný garant prof. MUDr. Egon Kurča, PhD.

- **State of the art** – prof. MUDr. Egon Kurča, PhD.
- **Lidské prionové nemoci v ČR: 22 let zkušeností Národní referenční laboratoře pro diagnostiku lidských prionových onemocnění** – MUDr. Nikol Jankovská
- **Creutzfeldtova-Jakobova choroba v severnej části stredného Slovenska: retrospektívna analýza súborov v rokoch 2006 až 2023** – MUDr. Pavol Skáčík
- **Fenokopie Creutzfeldtovy-Jakobovy nemoci** – prof. MUDr. Kateřina Menšíková, Ph.D.
- **Diskuze**

### Neuropatologie

odborná garantka MUDr. Lucie Tučková

- **Současné standardy molekulárně-patologického testování nádorů centrálního nervového systému** – doc. RNDr. Markéta Kalinová, Ph.D., Mgr. Tereza Valterová
- **Novinky v diagnostické patologii nádorů hypofýzy – klinickopatologická perspektiva** – MUDr. Jiří Soukup, Ph.D.
- **Nádory mozkových plen z pohledu patologa** – MUDr. Jiří Soukup, Ph.D.
- **Klinicko-patologické korelace u pacientů s PSP: studie Mozkové banky FNOL a LF UP** – MUDr. Lucie Tučková, MUDr. Dominik Hraboš, prof. MUDr. Kateřina Menšíková, Ph.D., prof. MUDr. Radoslav Matěj, Ph.D., doc. Mgr. Jan Bouchal, Ph.D., prof. MUDr. Petr Kaňovský, CSc.

### Markery demence

odborná garantka prof. MUDr. Irena Rektorová, Ph.D.

- **Diagnostika Alzheimerovy nemoci a ostatních neurodegenerativních onemocnění pomocí biomarkerů z mozkomíšního moku a krve** – doc. MUDr. Martin Vyhnálek, Ph.D.
- **Zobrazovací a EEG biomarkery** – prof. MUDr. Irena Rektorová, Ph.D.
- **Koncept genetického testování v oblasti Alzheimerovy choroby a příbuzných demencií. Skúsenosti z jedného centra** – prof. MUDr. Stanislav Šutovský, Ph.D.
- **Neuropsychologie** – doc. Mgr. et Mgr. Tomáš Nikolaj, Ph.D.

### Kontroverze

- **Vícečetná patologie („mixed pathology“) u neurodegenerativních onemocnění** – prof. MUDr. Kateřina Menšíková, Ph.D., prof. MUDr. Petr Kaňovský, CSc.

### Soutěžní blok kazuistik

odborní garant prof. MUDr. Irena Rektorová, Ph.D., prof. MUDr. Štefan Sivák, PhD.

- Témata budou doplněna.

18.30 Předpokládaný závěr odborného programu

### WORKSHOP Status epilepticus

odborný garant prof. MUDr. Petr Marusič, Ph.D.

Workshop bude probíhat paralelně se čtvrtečním odpoledním odborným programem. Jeho kapacita je omezená.

- **Konvulzivní status epilepticus** – doc. MUDr. Irena Doležalová, Ph.D.
- **Nekonvulzivní status epilepticus** – MUDr. David Krýsl, Ph.D.
- **Specifika status epilepticus u dětí** – MUDr. Ondřej Horák

## PÁTEK 6. 6. 2025

### Neurokardiologie

odborná garantka prof. MUDr. Ivana Štětkařová, CSc., MHA

- **Hypertenze a neurologická onemocnění** – MUDr. Petr Mikulěnka
- **Kardiomyopatie** – doc. MUDr. Edvard Ehler, CSc.
- **Kardiovaskulární nežádoucí účinky neurologických a psychiatrických léčiv** – MUDr. Václav Boček

### Pumpové systémy v terapii neurologických poruch

odborní garant prof. MUDr. Petr Kaňovský, CSc., prof. MUDr. Egon Kurča, PhD.

- **Terapie Parkinsonovy nemoci intraduodenálními infuzemi L-DOPA** – doc. MUDr. Marek Baláž, Ph.D.
- **Terapie parkinsonismu subkutánními pumpovými systémy** – prof. MUDr. Kateřina Menšíková, Ph.D.
- **Terapie spasticity pomocí baclofenové pumpy** – prof. MUDr. Ivana Štětkařová, CSc., MHA

### Z historie neurologie

- **Franz Gerstenbrand (1924–2017)** – prof. MUDr. Petr Kaňovský, CSc.

15.00 Předpokládaný závěr odborného programu.

# História definovania a stanovenia smrti

prof. MUDr. Egon Kurča, PhD., FESO, prof. MUDr. Štefan Sivák, PhD.

Neurologická klinika JLF UK a UNM, Martin

Stanovenie smrti človeka je všeobecne bezproblémové a nevyžaduje špeciálne vzdelanie ani zručnosti. V malej časti prípadov ale nie je vôbec jednoduché určiť, či je osoba mŕtva alebo živá. Situáciu komplikuje aj potreba definovať čas a príčinu smrti. Autori v článku rozoberajú históriu definovania a stanovenia smrti človeka od 18. storočia (obdobie akcelerácie anatomicko-fyziologického poznania) až dodnes. Osobitný zreteľ je venovaný konceptu používanému v poslednom polstoročí, a to smrti mozgu založenej na neurologických kritériách. Zároveň zdôrazňujú, že problematika smrti je kombináciou odborne medicínskych, morálne etických, filozoficko-náboženských a legislatívne právnych aspektov spolu s emocionálnym pozadím ľudí blízkyh zomretým osobám.

**Kľúčové slová:** smrť mozgu, stanovenie smrti na základe neurologických kritérií, história, etika, legislatíva.

## The history of defining and determining death

Determining a person's death is generally unproblematic and requires no special education or skill. In a small proportion of cases, however, it is not at all easy to determine whether a person is dead or alive. The situation is further complicated by the need to define the time and cause of death. In the article, the authors discuss the history of defining and determining the death of a person from the 18th century (a period of accelerated anatomical-physiological knowledge) until the present day. Particular attention is paid to a concept used in the last half-century, namely brain death based on neurological criteria. Also, emphasis is placed on the fact that the issue of death is a combination of professional-medical, moral-ethical, philosophical-religious, and legislative-legal aspects along with the emotional background of those who are close to the deceased ones.

**Key words:** brain death, determining death based on neurological criteria, history, ethics, legislation.

## Úvod

Proces stanovenia smrti človeka a kontroverzie, ktoré ho sprevádzajú, bol v posledných 60 rokoch doplnený o novú kvalitatívnu cerebrálnu úroveň. Problém nespočíva ani tak v tom, čo smrť jedinca predstavuje a mŕtve telá majú svoje charakteristické črty. Vo väčšine prípadov dokážeme (aj laická verejnosť) identifikovať mŕtve osoby, ale aj mŕtve zvieratá alebo rastliny. Existuje však nezanedbateľný počet prípadov, keď nie je vôbec jasné (ani lekárom), či je osoba živá alebo mŕtva. Navyše určenie presného času úmrtia jedinca je ďalšou výzvou v tomto kontexte. Zásadný

význam majú diagnostické kritériá smrti a použité vyšetrovacie metódy. Rovnako dôležité je zabrániť chybnému stanoveniu smrti žijúcich osôb (tzv. zdanlivo mŕtvi). Smrť človeka sa stala viac komplexným fenoménom, na pochopenie ktorého už nepostačujú zdedené a naučené inštinkty.

Filozoficky poznáme dva základné princípy definovania života. Prvý predstavuje tzv. centralistickú teóriu, keď je „životná sila alebo princíp“ sústredený v jednom alebo viacerých orgánoch tela. Druhý predstavuje tzv. decentralistickú teóriu, podľa ktorej je „životný princíp“ zastúpený disperzne vo

## DECLARATIONS:

### Declaration of originality:

The manuscript is original and has not been published or submitted elsewhere.

### Ethical principles compliance:

The authors attest that their study was approved by the local Ethical Committee and is in compliance with human studies and animal welfare regulations of the authors' institutions as well as with the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects adopted by the 18<sup>th</sup> WMA General Assembly in Helsinki, Finland, in June 1964, with subsequent amendments, as well as with the ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, updated in December 2018, including patient consent where appropriate.

### Conflict of interest:

Not applicable.

### Consent for publication:

Not applicable.

Cit. zkr: *Neurol. praxi.* 2025;26(2):97-102

<https://doi.org/10.36290/neu.2024.086>

Článok prijat redakci: 4. 10. 2024

Článok prijat k publikaci: 2. 1. 2025

prof. MUDr. Egon Kurča, PhD., FESO

egonkurca@gmail.com

všetkých orgánoch, tkanivách a bunkách ľudského tela (Powner et Ackerman et Grenvik, 1996). V stredoveku zakazovala pitvy človeka cirkev. Pitvy zvierat ich zďaleka nemohli plnohodnotne nahradiť. Prvú učebnicu anatómie človeka napísal anatóm z Bologne Mondino dei Lucci v roku 1316 a Univerzita v Padove ju schválila ako kmeňový materiál pre štúdium humánnej anatómie (Singer, 1957). V Prahe vykonal prvú verejnú pitvu Slovak Ján Jessenius z Turčianskeho Jasena v roku 1600 (Biografický lexikón Slovenska, 2010). Lekárske vedomosti o anatómii a fyziológii človeka boli v európskych štátoch prakticky do 17. storočia výrazne obmedzené, z čoho vyplývalo skreslené (mnohokrát až mystické) chápanie smrti organizmu.

Až v 18. storočí sa začína dominantne uplatňovať tzv. kardiorespiračná definícia smrti. Trvalé zastavenie dýchania a činnosti srdca znamená smrť jedinca. Avšak vzhľadom na technické možnosti bola diskrepancia medzi teóriou a praxou – t.j. spoľahlivé vylúčenie dychovej a srdcovej činnosti bolo mnohokrát problémové, čo napr. viedlo k predčasným pohrebom (teda k pochovaniu živých osôb) (Whetstone, 2008).

Strach z pochovania živého človeka bol neskôr doplnený o informácie o odloženom oživovaní. Napríklad pstruh zahrabaný v snehu niekoľko dní (zmrazený) je schopný ožiť, keď mu je neskôr prinavrátená normálna telesná teplota. Analogické zistenia boli známe aj pri ďalších, nižších formách života (červy, slimáky). Vyvstala otázka, aký „hibernačný“ potenciál má ľudská bytosť. Boli známe aj informácie o fakiroch, ktorí dokázali mentálne ovplyvniť svoju dychovú, obehovú a metabolickú aktivitu, ako aj stav vedomia a telesnej teploty na dlhé dni a tak dosiahnuť určitý stav blízky smrti (life-in-death) s následnou plnou obnovou života. Toto všetko do určitej miery zneprehľadňovalo rozhranie medzi životom a smrťou (Pernick, 1988; Tebb et Vollum, 2014). Bezprostredné oživovanie sa týkalo aj osôb s náhlým zlyhaním vitálnych funkcií – teda klinicky mŕtvych ľudí. Podkladom bol objav priamej masáže srdca, ale aj kardiálnej elektroresuscitácie (defibrilácie) a umelej pľúcnej ventilácie. Možnosti vtedajšej reálnej medicíny a absurdné predstavy verejnosti sa v tom čase mierne premiešali, k čomu výrazne prispel aj prvý vedecko-fantastický román Frankenstein alebo moderný Prometheus od Mary Shelley

Obr. 1. Frankensteinovo monštrum – umelý človek z kultového filmu z roku 1931 podľa literárnej predlohy M. Shelley



z roku 1818 (Obr. 1). Od začiatku 20. storočia nebolo výnimočné, že pri náhlom úmrtí nasledovali pokusy o oživenie (resuscitáciu) a až potom sa konštatovala smrť.

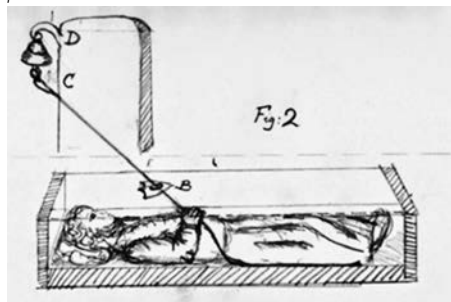
Rozvoj orgánových transplantácií v 20. storočí upriamil pozornosť na mozog, ktorý fakticky ako jediný nie je možné transplantovať. Vznikajú názory, že práve mozog je nositeľom „životného princípu“, ktorý integruje a zastrešuje činnosť všetkých ostatných orgánov a jeho funkčnosť je tým, čo oddeľuje život od smrti. Trvalý zánik činnosti celého mozgu (mozgu ako celku) spôsobuje v priebehu krátkeho času metabolický (hormonálny), obehový (osmotický) a inflamačne toxemický rozvrat organizmu s konečným zastavením srdcovej činnosti. Časový odhad hovoril o niekoľkých dňoch (najviac dvoch týždňoch) od ukončenia mozgovej činnosti (Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School, 1968). Takto začala éra tzv. smrti mozgu ako alternatívneho kritéria ku kardiorespiračnému kritériu pri definícii ľudskej smrti a predstavovala nový spôsob stanovenia smrti v období intenzívnej medicínskej starostlivosti a umelej pľúcnej ventilácie.

## Diagnostické a konfirmačné testy smrti

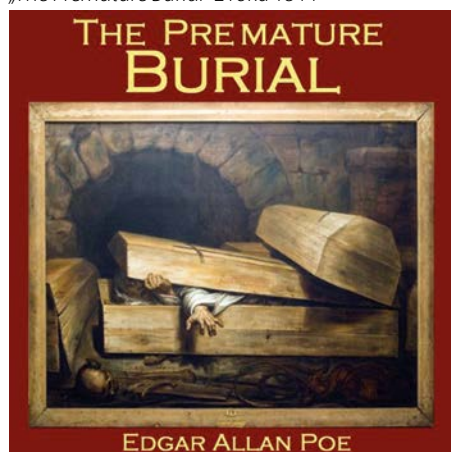
Ako už bolo povedané, zastavenie dýchania a činnosti srdca nebolo v tom období niekedy možné jednoznačne stanoviť. Preto lekárska komunita navrhla celý rad diagnostických a konfirmačných testov, ktoré mali uľahčiť potvrdenie smrti jedinca a zároveň minimalizovať možnosť omylu. Uvedieme niektoré z nich, ktoré boli datované približne do roku 1800 (Alexander, 1980; Pernick, 1988):

- testy na citlivosť (napr. vstreknutie horčice do nosa, vpichnutie dlhej ostrej ihly pod necht, popálenie kože, extrémne silný zvukový podnet),
- zrkadlo pred nos a/alebo ústa,
- tlak na očné guľu spôsobí trvalú deformáciu zrenice (Ripault),
- stmavnutie a zneprehľadnenie rohovky (Larcher),
- atonický análny zvierač,
- nádoba s vodou sa položí na brucho osoby – sleduje sa pohyb vodnej hladiny,
- injekcia amoniaku subkutánne nespôsobí viditeľnú zápalovú reakciu (Monteverde),

**Obr. 2.** Schéma špeciálnej bezpečnostnej rakvy podľa kazateľa Pesslera z roku 1798



**Obr. 3.** Hororová poviedka od Edgara Allana Poea „The Premature Burial“ z roku 1844



- zavedenie lesklej kovovej ihly do svalu nespôsobí jej hrdzavenie (Cloquet),
- ligatúra prsta nespôsobí stmavnutie a kongesciu distálnej časti (Magnus),
- nepulzujúce bleďozlté artérie (Davis, Leon),
- vpichnutie ihly do srdca a sledovanie pohybu zástavky na ihle (Balfour),
- incízia v interkostálnom priestore a palpácia srdca (Foubert),
- sval nereaguje na elektrickú stimuláciu,
- prítomnosť rigor mortis,
- prítomnosť hnilobného procesu.

Po prečítaní zoznamu je zrejmé, že validita (senzitivita a špecificita) jednotlivých testov je výrazne rozdielna. Rigor mortis je teoreticky možné zameniť so svalovou hypertóniou inej etiológie (rigidita, katatónia). Hnilobný proces môže byť prítomný aj u živých (gangréna, lepra). Niektoré testy sú dokonca invazívne a potenciálne nebezpečné (posúdenie akcie srdcového svalu – testy podľa Balfoura a Fouberta).

Logický prístup v rámci rozhodovacieho procesu musel nevyhnutne zahrnúť aj po-

zorovanie osôb prehlásených za mŕtve po určitý čas. S týmto cieľom vznikali v 18. storočí márnice určené na observáciu pred samotným pochovaním (Powner et Ackerman et Grenvik, 1996). Kadávery boli obmotané textilným pásom pripojeným na samostatný zvonček nad každým lôžkom. Prípadný pohyb tela vyvolal zvonenie, ktoré privolalo personál márnice. V drvivšej väčšine prípadov však zvonenie znamenalo pohyb tela v dôsledku expanzie mŕtvolných hnilobných plynov a nie oživenie zdanlivo mŕtvej osoby. Medzi iné zaujímavé, ale skôr excentrické riešenia patrili vynálezy špeciálnych rakiev, ktoré umožňovali komunikáciu zvnútra truhly obrazne povedané s povrchom zemským. V 18. a 19. storočí boli navrhnuté rôzne typy takýchto bezpečnostných rakiev. Asi najznámejšia je rakva podľa nemeckého kazateľa Pesslera, z ktorej mohol človek vyslať signál, že žije potiahnutím šnúry spojenej mimo truhly opäť so zvončekom (Obr. 2) (Whetstine, 2008).

V priebehu 19. storočia sa postupne objavujú viac sofistikované diagnostické testy, ktoré posunuli proces stanovenia smrti na kvalitatívne vyššiu úroveň. Vynález stetoskopu (fonendoskopu) umožnil auskultačné posúdenie činnosti srdca. Oftalmoskopia (fundoskopia) s vysokou presnosťou zobrazila náplň aj prítok krvi cievami sietnice. Použitie teplomerov prinieslo objektívny pohľad na určenie telesnej teploty, ktoré má tiež svoju výpovednú hodnotu. V roku 1910 bola prvýkrát použitá fluoroskopia X lúčmi hrudníka a brucha (RTG) na posúdenie pohybu vnútorných orgánov ako známok života (Pernick, 1988; Iserson, 2001).

### Problematika zdanlivo mŕtvych

Je historicky mnohonásobne overenou a potvrdenou skutočnosťou, že k pochovaniu zdanlivo mŕtvych osôb (teda živých ľudí) dochádzalo opakovane. Literárne tému po prvýkrát uchopil v krátkej hororovej poviedke Edgar Allan Poe v roku 1844 (Obr. 3). Bruhier d'Ablaincourt z Paríža uvádza 72 osôb chybné prehlásených za mŕtvych iba v roku 1742. Zaujímavé údaje poskytujú ďalej napr. práca francúzskeho lekára Josata, ktorý v 19. storočí skúmal súbor osôb, ktoré boli úradne prehlásené za mŕtve a ktoré následne (prekvapivo) ožili. Uvádza 30 osôb, ktoré ožili v čase od 2 do 8 hodín, 58 osôb v čase od 8 do 15 hodín,

47 osôb od 15 do 20 hodín, 20 osôb od 20 do 36 hodín a 7 osôb od 36 do 42 hodín po konštatovaní smrti (Iserson, 2001). Omnoho impresívnejšie pôsobia na čitateľa konkrétne prípady. Dve recentne pochované ženy v Škótsku v 17. storočí (prípady Elphinstone a prípad Erksime) nečakane ožili, keď sa vykrádači hrobov pokúšali ukradnúť ich šperky (druhej z nich chceli kvôli prsteňu odrezať prst). Podporným faktorom pri nesprávnom konštatovaní smrti bolo aj pôsobenie veľkého počtu rôznych šarlatánov, ktorí sa vydávali za lekárov, obzvlášť vo vidieckom prostredí. Druhou príčinou bolo rýchle a hromadné pochovávanie ľudí pri epidémiách (napr. cholera, mor, kiahne), ako jeden z hlavných bariérových postupov na obmedzenie šírenia infekcie. Ďalším potvrdením pochovania živých osôb sú nálezy pri rušení cintorínov (napr. kostrové nálezy osôb otočených na brucho a tvárou k zemi, s dislokovanými končatinami, s fraktúrami končatín, s potrhávaným šatstvom) (Tebb et Vollum, 2014). Zdanlivá smrť ako prechodný fenomén je najčastejšie zapríčinená hypoxiou, mozgovou príhodou, intoxikáciou, hypotermiou, hystériou, psychotickou kateplexiou alebo rôznymi komatóznymi stavmi.

### Vznik koncepcie smrti mozgu (brain death – BD)

V roku 1956 opísali Lofstedt a von Reis šesť hlbokokomatóznych pacientov na umelej pľúcnej ventilácii s hypotenziou, polyúriou a hypotermiou. Angiografické vyšetrenie ukázalo absenciu cerebrálnej perfúzie. Pacienti zomreli na zastavenie srdcovej činnosti v časovom rozpätí 2–26 dní. Pitva potvrdila pokročilú difúziu nekrózu mozgu (Lofstedt et von Reis, 1956). V podstatne známejšej práci z roku 1959 Mollaret a Goulon označujú pacientov v takomto stave pojmom „coma dépassé“, čo sa stáva základom budúcej koncepcie tzv. BD (Mollaret et Goulon, 1959), ktorá bola publikovaná v roku 1968 ako Harvardské kritériá definujúce ireverzibilnú kómu ako BD, ktorá sa považuje za ekvivalent smrti človeka (Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School, 1968). Trvalá strata vedomia a tým neschopnosť žiadnych sociálnych a interpersonálnych interakcií sa považuje za smrť človeka alebo stav rovnocenný smrti. Navyiac sa vôbec nepochybovalo o tom, že po nástupe trvalej

apnoickej kómy s nekrozou mozgu dochádza v krátkom čase k obehovému a metabolickému rozvratu celého tela so zastavením činnosti srdca.

V roku 1981 vzniká dokument UDDA (Uniform Determination of Death Act), ktorý zohľadňuje medicínske, právne a etické stránky so záverom: 1. ireverzibilné zastavenie obehu a dýchania alebo 2. ireverzibilný zánik funkcií celého mozgu vrátane mozgového kmeňa sa považujú za smrť človeka (stanovenie smrti musí naplniť prijaté odborné štandardy) (President's Council on Bioethics, 1981). Tento dokument bol akceptovaný všetkými štátmi USA a následne sa rovnaké alebo analogické pravidlá prijímali v ďalších krajinách vrátane ČR a SR. Obsahujú podmienky neurologického nálezu a prípadnú potrebu opakovaných neurologických vyšetrení, trvanie nevyhnutnej observácie pacienta, možnosť alebo povinnosť použitia rôznych konfirmačných testov (napr. angiografia, EEG), ako aj zoznam stavov napodobujúcich BD, ktoré musia byť diagnosticky vylúčené (napr. intoxikácie, metabolické rozvraty, hypotermia).

## Diskrepancia medzi BD a smrťou človeka

Koncept BD, ktorá je nezvratne v relatívne krátkom čase nasledovaná smrťou celého organizmu, nebol vytvorený účelovo pre transplantáčne ciele. Čaro nechceného, ako to už v živote býva, ale spôsobilo, že práve ireverzibilná BD alebo presnejšie povedané „stanovenie smrti na základe neurologických kritérií“ (Brain Death/Death by Neurological Criteria – BD/DNC) zásadným spôsobom umožnilo rozvoj transplantáčnej medicíny. Štatistiky napr. v roku 2022 uvádzajú celosvetový sumár orgánových transplantácií v počte 157 494 pacientov (Global Observatory on Donation and Transplantation, 2022). Druhou stranou mince je ale skutočnosť, že tento koncept neobstál v dlhotrvajúcej skúške časom napriek tomu, že v USA predstavuje takmer 40 rokov právne záväznú definíciu smrti. Napriek tomu musíme aspoň pripustiť, že sa na reklamnej fasáde konceptu objavili trhliny. V roku 1998 publikoval Shewmon 175 kazuistík pacientov s „chronickou BD“, keď obdobie medzi stanovením BD/DNC a smrťou celého organizmu (vznik asystólie) bolo v trvaní jeden týždeň a dlhšie (Shewmon, 1998). Za najdlhšie

prežívajúceho bol prehlásený mozgovo mŕtvvy vo veku štyri a pol roka (chlapec s bakteriálnou meningitídou), kardiálna smrť u neho nastala až vo veku 24 rokov, po celý čas bol umelo ventilovaný a vyživovaný sondou. Pitva odhalila kompletnú kalcifikáciu mozgu bez makroskopického či mikroskopického nálezu viabilného nervového tkaniva (Bernat, 2004). Obzvlášť emocionálne boli prípady tehotných žien, ktorým bola stanovená BD/DNC, ale bola vyvinutá maximálna snaha o udržanie ich života s možnosťou priviesť na svet životaschopné dieťa. Najznámejší je široko medializovaný prípad Jahi McMath, ktorý rozoberieme osobitne a ktorý sa zároveň stal východiskovou poľnou pre tlak odbornej aj laickej verejnosti na prípadnú revíziu UDDA z roku 1981. Tento proces práve prebieha. Prvou lastovičkou bol dokument vydaný Komisiou prezidenta USA pre bioetiku v roku 2008 (Controversies in the Determination of Death), ktorý konštatuje, že telesná schránka osoby so stanovenou BD/DNC môže ďalej žiť minimálne v niektorých prípadoch (President's Council on Bioethics, 2008).

Pravdepodobným kľúčom k udržaniu života telesnej schránky napriek smrti mozgu sú hypotalamicko-hypofyzárne funkcie, ktoré zabezpečujú hormonálnu, osmoticko-cirkulačnú a termálnu homeostázu organizmu. Sú práce, ktoré hovoria o udržaní osmoregulácie pacientov so smrťou mozgu približne v 50 % (zvýšených 50 % má diabetes insipidus) (Nair-Collins et Joffe, 2021). Vysvetlením môže byť cievné zásobenie hypofyzárnej oblasti, ktoré je čiastočne extradurálne (arteria hypophysealis inferior) a nepodlieha kompresii pri elevácii intrakraniálneho tlaku. Kapilárna sieť vytvorená anastomózami s intradurálnou arteria hypophysealis superior zásobuje predný a zadný lalok hypofýzy spolu s časťou infundibula. V neurohypofýze je zásluhou dráh z ncl. supraopticus a ncl. paraventricularis určitá zásoba produktov hypotalamickej oblasti, ktoré sú homeostaticky nevyhnutné (Thomas et Manara, 2023). Russell a spolupracovníci v roku 2019 vyjadrili postoj AAN (American Academy of Neurology) k uvedeným zisteniam, v ktorom zľahka šalamúnsky uzatvárajú, že zachované neuroendokrinné funkcie nie sú v rozpore s ireverzibilnou smrťou mozgových hemisfér a mozgového kmeňa a koncepciou BD/DNC (Russell et al., 2019).

## Jahi McMath

Jahi McMath absolvovala v 13 rokoch väčší chirurgický výkon v oblasti hltana a po ňom došlo k hemoragickému šoku so zastavením činnosti srdca a následnou úspešnou resuscitáciou. O tri dni neskôr jej bola stanovená BD/DNC a vydaný úmrtný list štátom Kalifornia. Boli naplnené pediatrické aj dospelé odporúčania pre BD/DNC a potvrdené konfirmačnými testami: štyrikrát izoelektrické EEG, jedenkrát rádionuklidová perfúzia mozgu bez preukázania prietoku. Rodina nesúhlasila s diagnózou ani s odpojením od umelej ventilácie a zariadila prevoz do štátu New Jersey, ktorého legislatíva ako jediná v USA dovoľovala pokračovať v podpore vitálnych funkcií napriek BD/DNC. Jahi žila ďalej väčšinou v domácej starostlivosti (táto bola prerušovaná občasnými hospitalizáciami) s umelou ventiláciou a vyživovaním sondou. Bola jej podávaná substitučná hormonálna terapia. Telo Jahi vykazovalo známky rastu, vývoja sekundárnych pohlavných znakov a začal sa aj menštruačný cyklus. Objavili sa aj intermitentné stavy s pohybovými reakciami na verbálne podnety s frekvenciou asi trikrát za týždeň v trvaní pol hodiny. Rodina poskytla lekárom veľký počet videozáznamov, ktorých analýza vylúčila spinálne motorické vzorce, ako aj myoklónie. Časť pohybov končatinami bola preukázateľne hemisferálneho pôvodu a boli podmienené príkazmi matky nad rámec možnosti štatistickej náhody (Shewmon et Salamon, 2021). Rovnako zaujímavá bola informácia o variabilite srdcového rytmu, ktorá presvedčivo reagovala na hlas matky (Machado et al., 2018). MR vyšetrenie mozgu deväť a pol mesiaca po stanovení BD/DNC prekvapivo ukázalo celkom zachované kortikálne štruktúry, bazálne gangliá, talamus, ako aj hornú časť mozgového kmeňa. Naopak najväčšia miera nekrotického poškodenia bola v bielej hmote hemisfér a v dolnej časti mozgového kmeňa. V domácom prostredí boli vyhotovené aj tri EEG záznamy, ktoré ukázali intermitentne prítomnú opakovateľnú elektrokortikálnu aktivitu nad 2 mikroV. Aj klinické hodnotenie stavu Jahi rôznymi neurológmi bolo MCS (minimally conscious state – dr. Shewmon) alebo RUS (responsive unawake syndrome – dr. Machado) (Shewmon, 2018; Machado, 2022). Rozhodne sa nedalo hovoriť o BD/DNC (napriek splneniu jej diagnostických kritérií v akútnej fáze

**Obr. 4.** Prípád Jahi McMath s dvomi vydanými úmrtými listmi (Zisfein, 2018)



cerebrálneho poškodenia), a to ani klinicky, ani elektrofyziologicky a ani štruktúrne. Vo veku 18 rokov došlo k hepatálnemu zlyhaniu a pacientka zomrela na zastavenie srdcovej činnosti. Druhý úmrtý list po piatich rokoch jej bol vydaný v New Jersey (Obr. 4). Diagnóza BD/DNC bola teda nesprávna. Shewmon ako možné vysvetlenie ponúka globálnu cerebrálnu ischemickú penumbriu, pri ktorej je v určitom časovom intervale minimálny prietok krvi mozgom pri zániku všetkých jeho funkcií, ale stále zachovanej životaschopnosti mozgových buniek (Shewmon et Salamon, 2022). Z nášho pohľadu je ale penumbrálna perfúzia na úrovni 10–30 ml/g/min, čo je určite nad rozlišovacím prahom špeciálnych perfúzných napr. rádionuklidových techník. Tieto úvahy však už presahujú rámec článku.

## Diskusia

Z rýdzo medicínskeho hľadiska musíme konštatovať, že pacienti, ktorým je stanovená BD/DNC v súlade s dnes platnými pravidlami, netvorí homogénnu skupinu. Môžeme ich rozdeliť do troch podskupín: **1.** pacienti, u ktorých dôjde v horizonte 1 až 2 týždňov po stanovení BD/DNC k zastaveniu srdcovej činnosti na základe obehového a metabolického rozvratu; **2.** pacienti, ktorých telesná schránka žije dlhšie po stanovení BD/DNC, rádovo mesiace (výnimočne až roky), pri umelej ventilácii a primeranej nutričnej podpore, ale bez ďalších špeciálnych resuscitačných postupov; **3.** pacienti, ktorých diagnóza BD/DNC bola nesprávna (falošná pozitivita) napriek naplneniu (minimálne deklarovanému) kritérií (Jahi McMath). Tento prípad chybných diagnóz BD/DNC však asi nebude jediný na svete.

Môžeme si položiť otázku, prečo je publikovaných tak málo prípadov z podskupiny 2 a 3 (teda chronic BD podľa Shewmona ale-

bo jednoznačne chybných diagnóz ako Jahi McMath). Odpoveď sa ponúka sama. Podľa prevládajúcich názorov je stanovenie BD/DNC považované za absolútorium a vo väčšine prípadov v krátkom čase nasleduje odber orgánov a/alebo odpojenie od umelej ventilácie. Je veľmi málo prípadov, keď napriek extrémne nepriaznivej prognóze pri závažnom poškodení mozgu trvá rodina pacienta na umelom udržiavaní vitálnych funkcií. Alebo samotní lekári rozhodnú napriek želaniu príbuzných o ukončení podpory života v súlade s platnou legislatívou. Ukazuje sa však, že v týchto skôr zriedkavých prípadoch je predĺžené biologické prežívanie telesnej schránky možné a asi nie je ani výnimočné. Napriek uvedenému nepoznáme ani jeden prípad, keď by sa pacient po stanovení BD prebral k vedomiu, čo ale môže byť „bias“ fenomén.

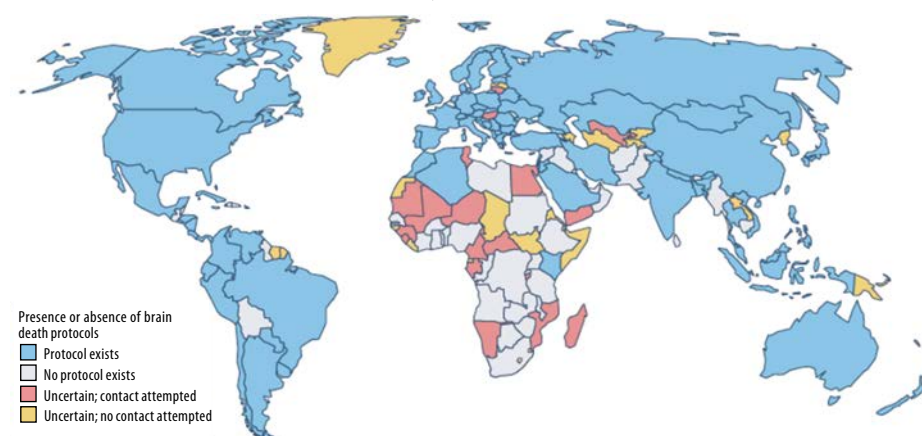
Stanovenie BD/DNC na základe UDDA z roku 1981 neznamena, že neodvratne vo všetkých prípadoch nasleduje nemožnosť udržať pri živote telo človeka bez zložitých postupov s výnimkou ventilačnej podpory. Jednoducho povedané, BD/DNC nie je vždy plnohodnotne biologicky ekvivalentná zastaveniu činnosti srdca. Smrť človeka navyše nie je iba biologický jav. Smrť má aj svoje náboženské aspekty, kultúrne a sociálne pozadie a zvyklosti, ako aj právne vzťahy a dôsledky. K úplnej názorovej zhode asi nedôjde nikdy. Časť odbornej aj laickej verejnosti bude rozhodne zastávať názor, že nespochybniteľná ireverzibilná apnoická hlboká kóma znamená smrť jedinca a je možné a eticky nenapadnuteľné odpojenie takéhoto človeka od umelej ventilácie. Na druhej strane sú legitímne názory (podobne ako je ochrana ľudského

plodu od počatia, aj keď tento určitý čas nemá funkcie definujúce život, ako napr. tlčúce srdce), ktoré zdôrazňujú ochranu tela a právo na život osôb s ťažko poškodeným mozgom, ktorí nikdy nenadobudnú vedomie, pokiaľ to samotná príroda bez príspevku človeka nevyrieši. Osobitnú zmienku si ešte zaslúžia prípadné dopady vyššie zmienených kontroverzií na fungovanie transplantáčného programu a legislatívu v jednotlivých krajinách.

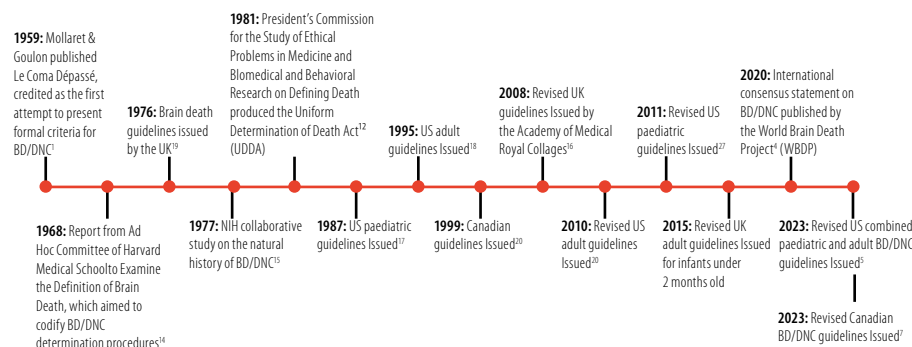
V roku 2019 malo 83 zo 136 skúmaných štátov vlastné kritériá na stanovenie BD/DNC (Obr. 5) (Lewis et al., 2020). Tieto sa v určitých aspektoch medzi sebou aj odlišovali. V roku 2020 vzniká medzinárodná iniciatíva WBDP (World Brain Death Project), ktorej cieľom je zaujať stanovisko k vyššie uvedeným kontroverziám, ďalej stanoviť minimálne kritériá pre BD/DNC a zabezpečiť ich širokú medzinárodnú implementáciu s cieľom dosiahnuť dostatočnú konzistenciu v diagnostike tzv. mozgovej smrti v medzinárodnom meradle (Greer et al., 2020). Posledné uverejnené štandardy sú revidované kombinované (pre deti aj dospelých) odporúčania diagnostiky BD/DNC v USA z roku 2023, ako aj revidované odporúčania diagnostiky BD/DNC v Kanade rovnako z roku 2023 (Obr. 6) (Greer et al., 2023; Shemie et al., 2023).

Kritériá BD/DNC z roku 2023 platné v USA napr. zakazujú začať určenie „smrti založené na neurologických kritériách“, pokiaľ nie je známa presná príčina (etiológia) a pokiaľ nie je jednoznačné, že zánik mozgových funkcií je trvalý. Akákoľvek pochybnosť je priamo z definície vylučujúcim faktorom. Lekári zapojení do procesu hodnotenia nemusia byť nevyhnutne neurológovia, ale musia ab-

**Obr. 5.** Celosvetové zastúpenie štátov s národným protokolom pre stanovenie BD/DNC (Lewis et al., 2020)



Obr. 6. Chronologická história ustanovenia a používania BD/DNC (Greer, Lewis et Kirschen, 2024)



solvovať špecializovaný tréning v BD/DNC. Zároveň nemôžu byť títo lekári nijakým spôsobom spojení s transplantačným programom a odberom orgánov. Trvanie observácie je v niektorých prípadoch priamo dané etiológiou, použitými terapeutickými postupmi a vekovou kategóriou pacienta. V prípade detských pacientov sú potrebné dve klinické vyšetrenia a v skupine dospelých je potrebné jedno vyšetrenie, ale odporúča sa (nevyžaduje) aj druhé vyšetrenie iným nezávislým

hodnotiteľom. Pri zistení jediného príznaku činnosti mozgu v rámci klinického vyšetrenia nie sú konfirmačné testy indikované. Osobitná pozornosť je v odporúčaniach venovaná použitiu neurozobrazovacích vyšetrení, telesnej teploty, tlaku krvi, vylúčeniu liekových a iných intoxikácií (vrátane zohľadnenia funkčnosti hepatorenálneho komplexu), ako aj metabolických, acidobázických a endokrinných porúch. Podrobne sú zmienené barbituráty a periférne myorelaxanciá. Ďalej je metodicky

upresnené vykonanie apnoického testu (ako aj apnoického testu osôb na ECMO). Z konfirmačných testov sú uvedené taxatívne iba DSA (s nástrekom obidvoch karotických aj vertebrálnych tepien), perfúzy SPECT mozgu a u dospelých aj transkraniálna UZ dopplerometria. CT a MR angiografické vyšetrenia, ako aj EEG sú z procesu vylúčené. V každom prípade je možné povedať, že kritériá BD/DNC nezaznamenali v priebehu rokov väčší počet zmien a môžeme postulovať ich konzistenciu a kontinuitu (Hills, 2024).

Takto nateraz končí príbeh z moderného sveta o definovaní a určovaní smrti človeka. Samozrejme zostávajú nezodpovedané otázky a ide o tému, kde sa kombinujú odborné medicínske, morálne etické, filozoficko-náboženské a legislatívne právne aspekty (Pennington et Souter, 2023). Naviac v mnohých prípadoch téma nadobúda silné vzťahové a emocionálne pozadie, ktoré môže zásadným spôsobom ovplyvniť postoj človeka k tejto otázke.

LITERATÚRA

1. A definition of irreversible coma. Report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School to examine the definition of brain death. *JAMA*. 1968;205:337-340.
2. Alexander M. 'The Rigid Embrace of the Narrow House': Premature Burial & The Signs of Death. *Hastings Cent Rep*. 1980;10(3):25-31.
3. Anonymous. Controversies in the Determination of Death. A white paper by the President's Council on Bioethics. Washington, DC: 2008.
4. Bernat JL. On Irreversibility as a prerequisite for brain death determination. In: Machado C, Shewmon DA, editors. Brain death and disorders of consciousness. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2004; pp. 161-167.
5. Biografický lexikón Slovenska. Zväzok IV. Martin: 2010; 587 s.
6. Doyle HR. Squaring the Circle. Brain death and organ transplantation. *Curr Opin Organ Transplant*. 2024;29(3):212-218. doi: 10.1097/MOT.0000000000001104.
7. Global Observatory on Donation and Transplantation. 2022. Dostupné z: <https://www.transplant-observatory.org/>.
8. Greer DM, Kirschen MP, Lewis A, et al. Pediatric and Adult Brain Death/Death by Neurologic Criteria Consensus Guideline. *Neurology*. 2023;101(24):1112-1132. doi: 10.1212/WNL.000000000000207740.
9. Greer DM, Shemie SD, Lewis A, et al. Determination of Brain Death/Death by Neurologic Criteria: The World Brain Death Project. *JAMA*. 2020;324(11):1078-1097. doi: 10.1001/jama.2020.11586.
10. Guidelines for the determination of death. Report of the medical consultants on the diagnosis of death to the President's Commission for the Study of Ethical Problems in Medicine and Biomedical and Behavioral Research. *JAMA*. 1981;246:2184-2186.
11. Hills TE. Brain death: A review of the latest guidelines. *Nursing*. 2024;54(8):17-23. doi: 10.1097/NSG.0000000000000038.
12. Iserson KV. Death to Dust: What Happens to Dead Bodies. 2<sup>nd</sup> edition. Galen Pr Ltd. 2001; 821 p.
13. Lewis A, Bakkar A, Kreiger-Benson E, et al. Determination of death by neurologic criteria around the world. *Neurology*. 2020;95(3):e299-e309. doi: 10.1212/WNL.0000000000009888.
14. Lofstedt S, von Reis G. Intracranial lesions with abolished passage of X ray contrast throughout the internal carotid arteries. *Opuscula Medica*. 1956;8:199-202.
15. Machado C. The Jahi McMath Case: First Detailed Study of Her Brain. *Neuro Int*. 2022;70(5):2235-2236. doi: 10.4103/0028-3886.359203.
16. Machado C, Estévez M, DeFina PA, Leisman G. Response to Lewis A: Reconciling the Case of Jahi Mcmath. *Neurocrit Care*. 2018;29(3):521-522. doi: 10.1007/s12028-018-0602-0.
17. Mollaret P, Goulon M. The depassed coma (preliminary memoir). *Rev Neurol (Paris)*. 1959;101:3-15.
18. Nair-Collins M, Joffe AR. Hypothalamic function in patients diagnosed as brain dead and its practical consequences. *Handb Clin Neurol*. 2021;182:433-446. doi: 10.1016/B978-0-12-819973-2.00029-0.
19. Pennington MW, Souter MJ. Brain Death: Medical, Ethical, Cultural, and Legal Aspects. *Anesthesiol Clin*. 2024;42(3):421-432. doi: 10.1016/j.anclin.2023.11.003.
20. Pernick MS. Back from the Grave: Recurring Controversies over Defining and Diagnosing Death in History. In: Zanner RM. (eds) Death: Beyond Whole-Brain Criteria. *Philosophy and Medicine*. 1988;31. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2707-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2707-0_2).
21. Powner DJ, Ackerman BM, Grenvik A. Medical diagnosis of death in adults: historical contributions to current controversies. *Lancet*. 1996;348:1219-23. doi: 10.1016/S0140-6736(96)04015-9.
22. Russell JA, Epstein LG, Greer DM, et al. Brain death, the determination of brain death, and member guidance for brain death accommodation requests: AAN position statement. *Neurology*. 2019;92:228-232.
23. Shemie SD, Wilson LC, Hornby L. A brain-based definition of death and criteria for its determination after arrest of circulation or neurologic function in Canada: a 2023 clinical practice guideline. *Can J Anaesth*. 2023; 70(4):483-557. doi: 10.1007/s12630-023-02431-4.
24. Shewmon DA. Chronic "brain death": meta-analysis and conceptual consequences. *Neurology*. 1998;51(6):1538-45. doi: 10.1212/wnl.51.6.1538.
25. Shewmon DA. Truly Reconciling the Case of Jahi McMath. *Neurocrit Care*. 2018;29(2):165-170. doi: 10.1007/s12028-018-0593-x.
26. Shewmon DA, Salamon N. The Extraordinary Case of Jahi McMath. *Perspect Biol Med*. 2021;64(4):457-478. doi: 10.1353/pbm.2021.0036.
27. Shewmon DA, Salamon N. The MRI of Jahi McMath and Its Implications for the Global Ischemic Penumbra Hypothesis. *J Child Neurol*. 2022;37(1):35-42. doi: 10.1177/08830738211035871.
28. Singer S. A Short History of Anatomy from the Greeks to Harvey. New York: Dover. 1957; p. 74.
29. Tebb W, Vollum EP. Premature Burial and How It May Be Prevented: With Special Reference To Trance, Catalepsy And Other Forms Of Suspended Animation. 2<sup>nd</sup> edition. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014; 474 p.
30. Thomas I, Manara AR. Preserved hypothalamic function does not preclude determination of death by neurologic criteria. In: Lewis A, Bernat JL, editors. Death determination by neurologic criteria areas of consensus and controversy. *Advances in neuroethics*. Springer. 2023; pp. 117-127.
31. Whetstone LM. The History of the Definition(s) of Death: From the 18<sup>th</sup> Century to the 20<sup>th</sup> Century. In: Crippen DW. (eds) End-of-Life Communication in the ICU. New York, NY: Springer. 2008. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-72966-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-72966-4_4).

# Diagnostika smrti mozgu v České a Slovenské republice a jej predpoklady a kontraindikácie

prof. MUDr. Štefan Sivák, PhD.<sup>1</sup>, doc. MUDr. Eva Pokorná, CSc., CETC<sup>2</sup>, doc. MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.<sup>3,4</sup>, MUDr. Petr Holly<sup>5,6</sup>, MUDr. Denisa Osinová, PhD.<sup>7</sup>, doc. MUDr. Juraj Miklušica, PhD.<sup>8</sup>, prof. MUDr. Egon Kurča, PhD., FESO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Neurologická klinika, Jesseniova lekárska fakulta v Martine Univerzity Komenského v Bratislave, Univerzitná nemocnica Martin

<sup>2</sup>Odborné edukačné pracovisko pro dárcovství orgánů, Institut klinické a experimentální medicíny, Praha

<sup>3</sup>Neurologické oddělení Nemocnice České Budějovice, a. s., České Budějovice

<sup>4</sup>Neurochirurgická a neuroonkologická klinika, 1. lékařská fakulta Univerzita Karlova v Praze a Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha, Praha

<sup>5</sup>Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze, Praha

<sup>6</sup>Ústav soudního lékařství a toxikologie 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze, Praha

<sup>7</sup>Klinika anesteziologie a intenzivní medicíny, Jesseniova lekárska fakulta v Martine Univerzity Komenského v Bratislave, Univerzitná nemocnica Martin

<sup>8</sup>Klinika všeobecnej, viscerálnej a transplantačnej chirurgie, Jesseniova lekárska fakulta v Martine Univerzity Komenského v Bratislave, Univerzitná nemocnica Martin

Kritériá mozgovej smrti sú medicínsky a legislatívne akceptované vo svete už viac ako polstoročie. Cieľom predkladaného článku je definovať legislatívny rámec diagnostiky smrti mozgu a postup diagnostiky v Slovenskej a Českej republike. V diskusii na základe súčasných vedeckých poznatkov bližšie rozoberáme predpoklady a kontraindikácie diagnostiky smrti mozgu.

**Kľúčové slová:** mozgová smrť, kritériá diagnostiky, predpoklady a kontraindikácie.

## Diagnosis of Brain Death in the Czech and Slovak Republics and Its Preconditions and Contraindications

The criteria for brain death have been medically and legally accepted worldwide for more than half a century. The aim of the presented article is to describe the legal framework for brain death diagnostics and the diagnostic procedure in the Slovak and Czech Republics. In the discussion, based on current scientific knowledge, we further analyze the preconditions and contraindications for brain death diagnostics.

**Key words:** brain death, diagnostic criteria, preconditions and contraindications.

## Úvod

Kritériá mozgovej smrti (*brain death*, *BD*) alebo kritériá smrti podľa neurologických kritérií (*death by neurologic criteria*, *DNC*) sú medicínsky a legislatívne akceptované vo svete už viac ako polstoročie. Lekár je však

povinný zisťovať smrť v súlade so súčasnými poznatkami vedy. Cieľom predkladaného článku je priblížiť legislatívny rámec diagnostiky smrti mozgu, opísať postup diagnostiky v Slovenskej a Českej republike (SR, ČR) a diskutovať problematiku predpokladov a kontra-

## DECLARATIONS:

### Declaration of originality:

The manuscript is original and has not been published or submitted elsewhere.

### Ethical principles compliance:

The authors attest that their study was approved by the local Ethical Committee and is in compliance with human studies and animal welfare regulations of the authors' institutions as well as with the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects adopted by the 18<sup>th</sup> WMA General Assembly in Helsinki, Finland, in June 1964, with subsequent amendments, as well as with the ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, updated in December 2018, including patient consent where appropriate.

### Conflict of interest:

Not applicable.

### Consent for publication:

Not applicable.

Cit. zkr: *Neurol. praxi*. 2025;26(2):103-108

<https://doi.org/10.36290/neu.2025.006>

Článek přijat redakcí: 4. 10. 2024

Článek přijat k publikaci: 17. 1. 2025

prof. MUDr. Štefan Sivák, PhD.

sivakste@gmail.com

indikácií diagnostiky vo vzťahu k aktuálnym vedeckým poznatkom.

### Legislatíva

Podľa súčasných legislatívnych podmienok v SR a ČR sa potenciálnym darcom stáva každý pacient po stanovení smrti, ktorý sám počas svojho života (alebo zákonný zástupca osoby plne nespôsobilý na právne úkony) oficiálne nevyjadril nesúhlas s odobratím orgánov (SR – § 5 zákona č. 317/2016 Z. z.; ČR – § 16 zákona č. 285/2002 Sb.).

Diagnóza smrti mozgu je klinická diagnóza a pre diagnostiku smrti mozgu u darcov orgánov platia špeciálne právne predpisy. Diagnostika smrti mozgu u darcov orgánov má v SR a ČR oporu v nasledujúcich právnych predpisoch v zmysle ich najnovších novelizácií:

- Slovenská republika
  - **Zákon č. 576/2004 Z. z.** o zdravotnej starostlivosti, službách súvisiacich s poskytovaním zdravotnej starostlivosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej „ZoZS“)
  - **Odborné usmernenie MZ SR č. 28610/2006** o darcovstve, odberoch ľudských orgánov z tiel živých a mŕtvych darcov,

o testovaní darcov a o prenose ľudských orgánov na príjemcu (ďalej „OU MZ SR“)

- Česká republika
  - **Zákon č. 285/2002 Sb.** o darovaní, odberoch a transplantáciách tkání a orgánů a o zmene některých zákonů (Transplantační zákon, ďalej „LTZ“)
  - **Vyhláška č. 115/2013 Sb.** o stanovení specializované způsobilosti lékařů zjišťujících smrt a lékařů provádějících vyšetření potvrzující nevratnost smrti pro účely odběru tkání nebo orgánů určených pro transplantaci
  - **Vyhláška č. 114/2013 Sb.** o stanovení bližších podmínek posuzování zdravotní způsobilosti a rozsahu vyšetření žijícího nebo zemřelého dárce tkání nebo orgánů pro účely transplantací. Obsahuje vzor „Protokolu o zjištění smrti“.

### Stanovenie smrti mozgu podľa aktuálnej legislatívy

Smrť mozgu je v SR a ČR definovaná rovnako – ako nezvratná strata funkcie celého mozgu (vrátane mozgového kmeňa) (SR – § 43 ods. 3 ZoZS; ČR – § 10 odst. 3 TZ). Postup

pri stanovení mozgovej smrti je však v našich krajinách rozdielny.

### Slovenská republika

Smrť mozgu musí **jednomyselne potvrdiť lekárske konzílium s bezprostredným spísaním Zápisnice o smrti mozgu** (Obr. 1) (§ 43 ods. 4 a ods. 7 ZoZS; Príloha č. 1 k OU MZ SR). Členom trojčlenného konzília je ošetrojúci lekár, lekár so špecializáciou v odbore neurológia a lekár so špecializáciou v odbore anestéziológia a intenzívna medicína alebo anestéziológia a resuscitácia. Členom konzília nesmie byť lekár odberovej alebo transplantačnej skupiny. Rozhodnutie konzília je pre ošetrojúceho lekára záväzné (§ 43 ods. 5 a 6 ZoZS; OU MZ SR).

Medzi **nevyhnutné kritériá na stanovenie smrti mozgu** patrí: hlboké bezvedomie (a); stanovenie cerebrálnej areflexie nad spinálnym segmentom C1 a strata reaktivity na vonkajšie a vnútorné podnety, ktoré sprostredkuje mozog (b); neprítomnosť spontánneho dýchania (c); neprítomnosť dočasných alebo trvalých kontraindikácií (d). V Zápisnici o smrti mozgu sú horeuvedené nevyhnutné kritériá bližšie špecifikované a rozdelené do 3 častí: **Predpoklady stanovenia smrti moz-**

Obr. 1. Zápisnica o smrti mozgu (SR)

Príloha č. 1  
k odbornému usmerneniu  
č. 28610/2006-OZSO

**ZÁPISNICA O SMRTI MOZGU**  
(§ 43 ods. 7 zákona č. 576/2004 Z. z. o zdravotnej starostlivosti, službách súvisiacich s poskytovaním zdravotnej starostlivosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov)

Meno a priezvisko pacienta ..... Rodné číslo .....  
Pracovisko ..... Číslo chorobopisu .....  
Základná diagnóza : ..... Poisťovňa .....

	1. vyšetrenie	2. vyšetrenie	
<b>Predpoklady stanovenia smrti mozgu</b>			
1. Známa a nevyliciteľná lézia mozgu	áno - nie	áno - nie	
2. Glasgow Coma Scale 3b.	áno - nie	áno - nie	
3. Umelá pľúčna ventilácia	áno - nie	áno - nie	
4. 12hod bez blokátorov neuromuskulárneho prenosu a liekov tlmiacich CNS	áno - nie	áno - nie	
<b>Dočasné alebo trvalé kontraindikácie</b>			
1. Akútna intoxikácia	áno - nie	áno - nie	
2. Kombinácia miechovej lézie a intoxikácie	áno - nie	áno - nie	
3. Primárna hypotermia	áno - nie	áno - nie	
4. Metabolický rozvrat	áno - nie	áno - nie	
5. Endokrinný rozvrat	áno - nie	áno - nie	
<b>Neprítomnosť funkcií mozgového kmeňa</b>			
1. Pupilárna areflexia bilaterálne	áno - nie	áno - nie	
2. Korneálna areflexia bilaterálne	áno - nie	áno - nie	
3. Vestibulookulárna areflexia bilaterálne	áno - nie	áno - nie	
4. Okulocefalická areflexia	áno - nie	áno - nie	
5. Areflexia v inerváčnej oblasti n. trigeminus	áno - nie	áno - nie	
6. Neprítomnosť reflexu zvracania	áno - nie	áno - nie	
7. Neprítomnosť kašľacieho reflexu pri odsávaní z dýchacích ciest	áno - nie	áno - nie	
8. Neprítomnosť spontánnej dychovej activity pomocou testu apnoickej oxygenácie (pa CO <sub>2</sub> ..... mmHg na začiatku a pa CO <sub>2</sub> ..... mmHg pri ukončení testu)	áno - nie	áno - nie	

Na základe vyššie uvedených vyšetrení stanovujem  
**KLINICKÚ DIAGNÓZU SMRTI MOZGU**

Konfirmačný test      indikovaný /      neindikovaný

1. vyšetrenie:      dátum..... hod..... min.....

.....      .....      .....

podpis anestéziológa      podpis neurológa      podpis oš. lekára

2. vyšetrenie:      dátum..... hod..... min.....

.....      .....      .....

podpis anestéziológa      podpis neurológa      podpis oš. lekára

gu, Dočasné alebo trvalé kontraindikácie a Neprítomnosť funkcií mozgového kmeňa (Obr. 1) (Príloha č. 1 k OU MZ SR).

Klinické určenie mozgovej smrti musí byť vykonané konzíliom dvakrát s časovým odstupom: u detí do 1 roka minimálne 24 hodín, u detí od 1 roka do 18 rokov minimálne 12 hodín a u dospelých nad 18 rokov minimálne 2 hodiny (čl. VI OU MZ SR). Personálne zloženie obidvoch lekárske konzílií sa môže alebo nemusí líšiť.

Konfirmačný test potvrdenia klinickej diagnózy mozgovej smrti je indikovaný doplnkovo v prípade nejednoznačného klinického vyšetrenia alebo v prípade nemožnosti vylúčiť prítomnosť dočasných alebo trvalých kontraindikácií. Výnimku tvoria deti do 1 roka života, u ktorých sa musí povinne vykonať konfirmačný test (čl. VI OU MZ SR).

Za čas smrti sa považuje čas určenia smrti mozgu po druhom klinickom vyšetrení

alebo po vykonaní konfirmačného testu (čl. VII OU MZ SR).

Po stanovení smrti mozgu sa môžu vykonávať len zdravotné výkony potrebné na účely odberu orgánov (čl. VIII OU MZ SR).

## Česká republika

V ČR je diagnostika smrti mozgu podľa Transplantačného zákona vykonávaná minimálne dvoma od seba nezávislými lekármi s príslušnou špecializačnou spôsobilosťou (§ 10 odst. 2 TZ). Aspoň jeden lekár musí byť lekárom so špecializovanou spôsobilosťou v odbore anesteziológia a intenzívna medicína, neurológia alebo neurochirurgia. U detí podľa príslušnej vekovej skupiny (do 27. dňa života, do ukončených 18 rokov života) je možná aj diagnostika lekáromi so špecializáciou v detskej neurológii, pediatrii a neonatológii (§ 2 vyhlášky č. 115/2013 Sb.).

Stanovenie mozgovej smrti pozostáva z posúdenia hlavných predpokladov, na základe ktorých je možné uvažovať o smrti mozgu (1), preukázania klinických známk smrti mozgu pacienta (2) a povinného vyšetrenia potvrdzujúceho nezvratnosť smrti mozgu (3) (Obr. 2) (§ 10 odst. 5 a odst. 6 a Príloha TZ; Príloha č. 3 vyhlášky č. 114/2013 Sb.). Výnimku tvoria jedinci s jasne preukázanou ťažkou štruktúrnou infratentoriálnou léziou, u ktorých sa vykonáva iba klinické vyšetrenie. U detí do 1 roka života sa vyšetrenie klinických známk smrti mozgu vykonáva dvakrát s časovým odstupom minimálne 48 hodín (Príloha k TZ). Lekári vykonávajúci konfirmačné vyšetrenia nezvratnosti stavu musia mať špecializovanú spôsobilosť v príslušnom odbore: angiografia mozgových ciev (rádiológia a zobrazovacie metódy), CT angiografia (rádiológia a zobrazovacie metódy), transkraniálna dopplerovská sonografia

Obr. 2. Protokol o zistení smrti preukázaním nezvratného zlyhania funkcie celého mozgu (ČR)

## život<sup>2</sup>

## život<sup>2</sup>

Příloha č. 3 k vyhlášce č. 114/2013 Sb. - Vzor protokolu o zjištění smrti

Protokol o zjištění smrti (k §10 zákona č. 285/2002 Sb.)	
II. Zjištění smrti průkazem nevrátne ztráty funkce celého mozku	
Jméno a příjmení: Jan NOVÁK	Rodné číslo: 771231 / 3333
Nebylo-li přiděleno RČ datum narození: .....	
Pracoviště poskytovatele zdravotních služeb: ARO, nemocnice Kolín	
1. lékař zjišťující smrt (lékař A) MUDr. Josef JANŮ jméno a příjmení	2. lékař zjišťující smrt (lékař B) MUDr. Eva PĚKNÁ jméno a příjmení
vedoucí lékař ARO pracovní zařazení	lékař JIP neurologie pracovní zařazení
1. Předpoklady, na základě kterých lze uvažovat o diagnóze smrti mozku	
Diagnóza základního mozkového postižení:	
lékař A: KRANIOTRAUMA	lékař B: KRANIOTRAUMA
Datum a čas úrazu nebo onemocnění:	
lékař A: 11.12.2024 20:15 datum, čas (hodina:minuta)	lékař B: 11.12.2024 20:15 datum, čas (hodina:minuta)
Bylo vyloučeno, že na bezvědomí se v okamžiku vyšetření podílí	
	lékař A                      lékař B
intoxikace	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
tlumivé a relaxační účinky léčiv	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
metabolický nebo endokrinní rozvrat	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
primární podchlazení	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne

2. Klinické známky smrti mozku		
hluboké bezvědomí (Glasgow coma scale - skóre)	3	3
fotoreakce - oboustranně chybí	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
korneální reflex - oboustranně chybí	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
vestibulookulární reflex - oboustranně chybí	* <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	* <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
motorická reakce při algickém podráždění v inervační oblasti n. trigeminus - oboustranně chybí	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
kašlací reflex provokovaný hlubokým tracheobronchiálním odsáváním - chybí	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
trvalá zástava spontánního dýchání - apnoický test při p <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> ..... 63 mmHg / kPa - splněn	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	<input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
poznámka:	lékař A	lékař B
*levá ano, pravá nelze, trauma a tamponáda pravého zvukovodu	20.12.24 9:30 datum, čas (hodina:minuta) podpis	20.12.24 9:30 datum, čas (hodina:minuta) podpis
3. Potvrzení nevrátlosti klinických známek smrti mozku - jedna z metod		
<input type="checkbox"/> Angiografie mozgových tepen <input type="checkbox"/> Mozková perfúzní scintigrafie <input checked="" type="checkbox"/> Počítačová tomografická angiografie <input type="checkbox"/> Transkraniální dopplerovská ultrasonografie <input type="checkbox"/> Vyšetření sluchových kmenových evokovaných potenciálů (BAEP)		
20.12.2024                      14:20 datum                                      čas (hodina:minuta)		
Záznam vyšetření je součástí zdravotnické dokumentace.		
<input type="checkbox"/> Instrumentální vyšetření nebylo provedené při průkazu těžké strukturální infratentoriální léze		
4. Závěrečná diagnóza:		
Na základě výše uvedených vyšetření byla zjištěna smrt mozku:		
lékař A:		
20.12.2024	14:50	MUDr. Josef Janů
datum	čas (hodina:minuta)	jméno, příjmení a podpis
lékař B:		
20.12.2024	14:51	MUDr. Eva Pěkná
datum	čas (hodina:minuta)	jméno, příjmení a podpis

Důvody, pro které nelze vyšetření klinických známek smrti mozku uvedené v části 2 provést, zaznamená lékař provádějící vyšetření klinických známek smrti mozku do poznámky tohoto protokolu. Pro potřeby případného stanovení okamžiku smrti je rozhodný čas zjištění smrti uvedený v protokolu lékařem B. Musí se shodovat s časem uvedeným v Listu o prohlídce zemřelého.

**Tab. 1.** Diagnostika smrti mozku u dárců orgánů v ČR pro kliniky souhrnně a přehledněji

1. Diagnostika smrti mozku je <b>klinická diagnóza</b> , nikoli radiologická či jiná dle typu instrumentálního vyšetření.
2. <b>Povinně musí být vyplněn Protokol o zjištění smrti</b> průkazem nevratné zástavy funkce celého mozku (Obr. 2) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Část 1 – Předpoklady, na základě kterých lze uvažovat o diagnóze smrti mozku.</li> <li>■ Část 2 – Klinické známky smrti mozku (areflexie vyjmenovaných všech kmenových reflexů a apnoický test).</li> <li>■ Část 3 – Potvrzení klinických známek smrti mozku jednou z uvedených instrumentálních metod (angiografie mozkových tepen, mozková perfúzní scintigrafie, počítačová tomografická angiografie, transkraniální dopplerovská ultrasonografie, vyšetření BAEP). <b>Instrumentální vyšetření je povinné</b> s výjimkou objektivně prokázané infratentoriální léze, kdy se provádí pouze klinické vyšetření. Popis vyšetření je součástí dokumentace pacienta (možného dárce). Zákon, provázející vyhlášky ani jiné právní normy neuvádí, jaké musí být diagnostické závěry u uvedených instrumentálních vyšetření, aby z nich klinik udělal závěr o smrti mozku.</li> <li>■ Část 4 – <b>Diagnózu smrti mozku uzavírají dva klinici</b> (lékař A a lékař B) po zhodnocení všech nálezů.</li> </ul>
3. <b>Okamžik smrti je čas podpisu lékaře B v 4. části Protokolu</b> o zjištění smrti. Stejný čas musí být uveden i v dalších dokumentech například Listu o prohlídce zemřelého.
4. Pokud nelze některé z předepsaných klinických vyšetření provést, zaznamená lékař důvod do Protokolu a pokračuje v dalších vyšetřeních.
5. Oba lékaři diagnostikující smrt mozku (lékař A a lékař B) musí mít specializovanou způsobilost v příslušném oboru a <b>alespoň jeden z nich</b> musí mít specializovanou způsobilost nejméně v jednom z oborů, kterým je anesteziologie a intenzivní medicína, neurologie nebo neurochirurgie (u dětí do 18 let může mít navíc i specializovanou způsobilost v oboru dětské lékařství, pediatrie, neonatologie, dětská neurologie).
6. U dětí <b>do 1 roku</b> života se provádějí <b>dvě klinická vyšetření s odstupem minimálně 48 hodin</b> , v obou se provádí apnoický test, instrumentální vyšetření jedno po ukončení druhého klinického vyšetření. U dětí od 1 roku života se diagnostika shoduje s postupem jako u dospělých.
Každý pacient s klinickými známkami smrti mozku by měl být zvažován jako možný dárc orgánů a mělo by být o něm informováno příslušné transplantáční centrum. Tato povinnost pro poskytovatele zdravotních služeb vyplývá z Transplantáčního zákona (§ 20 odst. 3). Kontakty na transplantáční centra jsou uvedeny v tabulce 2. Koordinátor vám bude ve všem nápomocen a povede vás v jednotlivých krocích. S výhodou je kontaktovat intenzivisty vaší nemocnice, kteří jsou s celým postupem zcela obeznámeni a mají praktické zkušenosti

**Tab. 2.** Kontakty na transplantáční centra a koordinátorov v ČR a SR

Transplantačné centrá v ČR k dispozícii 24 hodín denne	Sieť transplantáčných koordinátorov v SR
IKEM Praha	https://www.health.gov.sk/?siet-transplantacnych-koordinatorov-sr
CKTCH Brno	
FN Hradec Králové	
FN Motol	
FN Olomouc	
FN Ostrava	
FN Plzeň	
Koordináční středisko transplantací (Praha)	

s minimálne trojročnou sústavnou praxou (rádiológia a zobrazovacie metódy, neurológia, neurochirurgia, anestéziológia a intenzívna medicína, detská neurológia), sluchové kmeňové evokované potenciály s minimálne trojročnou sústavnou praxou (neurológia, otorinolaryngológia, detská neurológia) (bližšie § 3 vyhlášky č. 115/2013 Sb.).

**Záverečnú diagnózu na základe posúdenia všetkých podmienok a vyšetrení stanovujú dvaja klinici (4)** a pre potreby presného stanovenia okamžiku smrti je rozhodujúci čas zistenia smrti druhým lekárom. Všetky vykonané vyšetrenia a zhodnotenia sa uvádzajú do povinného Protokolu o zistení smrti preukázaním nezvratného zlyhania funkcie celého mozgu (Príloha TZ; Príloha č. 3 vyhlášky č. 114/2013 Sb.). V Tabuľke 1 pre prehľadnosť

uvádzame presnejší postup diagnostiky mozgovej smrti v českom jazyku. Vyplnený Vzor protokolu je na obrázku 2.

### Diskusia

Aj napriek širokému medzinárodnému súhlasu s potrebou diagnostiky mozgovej smrti sa samotné kritériá a klinická prax diagnostiky BD/DNC v jednotlivých krajinách sveta líšia (pozri Lewis et al., 2020). V roku 2020 boli publikované medzinárodné odporúčania *The World Brain Death Project* (WBDP) diagnostiky BD/DNC, ktoré vznikli konsenzom 5 svetových odborných federácií vrátane Svetovej neurologickej federácie (WFN). Autori zhodnotili viac než 700 relevantných vedeckých prác publikovaných v rokoch 1992–2020. Cieľom WBDP bolo navrhnúť na dôkazoch založené

minimálne štandardy pre diagnostiku BD/DNC a prispieť tak k zníženiu celosvetových rozdielov v lokálnych odporúčaniach (Greer et al., 2020; Lewis, 2024). V roku 2023 boli schválené BD/DNC odporúčania v USA a Kanade (Greer et al., 2023; Shemie et al., 2023).

### Koncept mozgovej smrti

Väčšina krajín sveta (82 %) vrátane ČR a SR si osvojila BD/DNC kritériá, ktoré sú založené na koncepte smrti celého mozgu (*whole-brain death*). Výnimku tvorí napríklad Veľká Británia, kde je diagnóza založená na koncepte smrti mozgového kmeňa (*brainstem death*) (Lewis et al., 2020; Spears et al., 2023). Najväčší rozdiel medzi obidvoma konceptmi je viditeľný pri izolovaných devastačných léziách mozgového kmeňa (napr. pri trombóze a. basilaris) so zachovanými prietokmi ciev supratentoriálne. Diagnóza mozgovej smrti je pri jednom koncepte možná (*brainstem death*) a pri druhom vylúčená (*whole-brain death*) (Neves Briard et al., 2023). Teoreticky, pri prechodne zachovaných supratentoriálnych prietokoch sa nedajú jednoznačne vylúčiť zachované funkcie dôležitých štruktúr mozgu vrátane vedomia (locked-in syndróm alebo MCS-minimálny stav vedomia). Preto sa podľa recentných odporúčaní u pacientov s primárnymi infratentoriálnymi léziami vyžaduje aj dôkaz sekundárne vzniknutej závažnej supratentoriálnej lézie pri konvenčnom štruktúrnom zobrazení (WBDP, USA) alebo pomocou konfirmačných testov (Kanada) (Greer et al., 2020; Greer et al., 2023; Shemie et al., 2023). V ČR odporúčaniach nie je pri ťažkej štruktúrnej infratentoriálnej lézii povinná konfirmačná metóda a vykonáva sa iba klinické vyšetrenie. Avšak ak ťažká štruktúrna infratentoriálna lézia nie je spojená so závažným poškodením hemisfér mozgu, stanovenie diagnózy smrti mozgu nie je možné vzhľadom na platnosť základného konceptu smrti celého mozgu. V podobných prípadoch je potrebné zopakovať zobrazenie mozgu s časovým odstupom, prípadne indikovať konfirmačný test.

V posledných rokoch sa ukazuje, že koncept smrti celého mozgu s nezvratnou stratou všetkých jeho funkcií je nepresný. Všetky recentné odporúčania kritérií BD/DNC akceptujú, že reziduálna ostrovčekovitá neuronálna a neuroendokrinná aktivita vybraných buniek mozgu, akou je pretrvávajúca aktivita hypotala-

mo-hypofyzárneho komplexu (napr. neprítomnosť diabetes insipidus, artériovej hypotenzie alebo poikilothermie), by nemali byť dôvodom na vylúčenie pacienta z diagnostického procesu BD/DNC (Greer et al., 2020; Greer et al., 2023; Shemie et al., 2023). Tieto rozdiely medzi konceptom smrti celého mozgu (vrátane hypotalamu) a bežnou klinickou praxou (okrem hypotalamu) vedú k vzniku nových konceptov mozgovej smrti (Kurča et al., 2025).

## Známa etiológia

Prvým predpokladom diagnostiky smrti mozgu podľa SR a ČR kritérií je známa etiológia (*diagnóza*) a závažné (*nevyliciteľné, nezvratné*) postihnutie mozgu (Obr. 1, Obr. 2). Bez známej etiológie, ktorá nespochybniteľne vysvetlí devastačné poškodenie mozgu, nie je možné stanovovať BD/DNC. V medicínskej literatúre sú opísané viaceré kazuistiky pacientov s prechodnou areflexnou kómou alebo locked-in syndrómom napríklad pri fulminantných formách Guillain-Barrého syndrómu (Sarna et al., 2024), pri pôsobení neuroparalytických jedov (Freund et al., 2017; ALFaifi et al., 2020) alebo pri intoxikácii liekmi, alkoholmi, insekticídmi (Murphy et al., 2021).

## Závažné štrukturálne postihnutie mozgu

Pri hodnotení závažnosti postihnutia mozgu má svoje pevné miesto zobrazenie mozgu. V SR a ČR kritériách smrti mozgu nie je presne definovaný charakter a závažnosť štrukturálneho postihnutia mozgu. V SR odporúčaniach sa hovorí o nevyliciteľnej lézii mozgu a v ČR odporúčaniach o nezvratnom štrukturálnom poškodení mozgu. WBDP za minimálne kritérium závažnosti pri zobrazení mozgu považujú potvrdenie prejavov intrakraniálnej hypertenzie v zmysle závažného edému mozgu s kónusovými prejavmi. V prípade nepotvrdenia kónusov sa odporúča zvýšená opatrnosť pri klinickej diagnostike mozgovej smrti (Greer et al., 2020). Medzi typické CT prejavy mozgového edému patrí zaniknutie hraníc medzi sivou a bielou hmotou, zánik subarachnoidálnych priestorov, komôr, bazálnych cisterien a rozvoj kónusov. Relatívne poddiagnostikovaným prejavom difúzneho edému mozgu pri CT zobrazení je príznak bieleho mozočka (*white cerebellum sign*) s nepriaznivou prognózou (obrázok 3).

Vzniká ako prejav relatívne zníženej denzity edematózných supratentoriálnych štruktúr mozgu v porovnaní s mozočkom (Corrêa et al., 2022).

## Nezvratnosť stavu

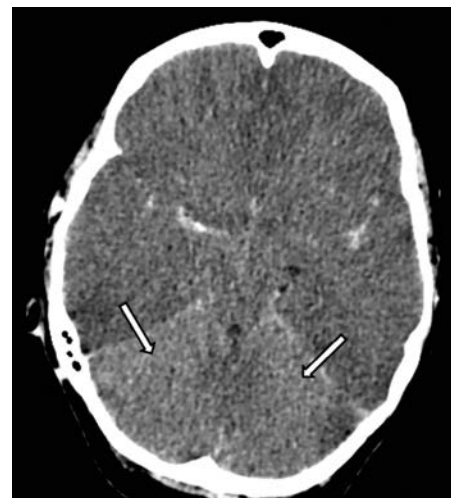
Pri diagnostike BD/DNC si musí byť vyšetrujúci klinik istý, že na základe presne určenej etiológie, závažnosti štrukturálneho mozgového postihnutia, neprítomnosti kontraindikácií a na základe priebehu klinického stavu alebo výsledkov konfirmačných vyšetrení ide o nezvratnú stratu funkcií mozgu. V ČR odporúčaniach, na rozdiel od odporúčaní v SR, je navyše povinne indikovaný potvrdzujúci test nezvratnosti klinických známkov smrti mozgu (Obr. 2).

Začiatku diagnostiky BD/DNC musí predchádzať dostatočný stav observácie klinického stavu pacienta s areflexnou kómou s cieľom posúdiť jeho nezvratnosť. SR, ČR ani WBDP kritériá všeobecne nedefinujú absolútnu dĺžku sledovania. Podľa WBDP kritérií by mala byť dĺžka observácie individuálna a dostatočne dlhá, aby sa odstránila každá pochybnosť o ireverzibilite stavu. Keďže ireverzibilita stavu sa stala predpokladom začatia diagnostiky BD/DNC, význam opakovaného vyšetrenia je v znížení rizika diagnostickej chyby pri prvom vyšetrení.

V špecifickom prípade sekundárneho *difúzneho ischemického postihnutia mozgu* po kardiopulmonálnom zlyhaní s potenciálnou možnosťou pomalšej úpravy neurologických funkcií a rizikom falošnej pozitivity nálezu mozgovej areflexie WBDP kritériá odporúčajú čas observácie minimálne 24 hodín (Greer et al., 2020). Podobne CT vyšetrenie mozgu v prvých hodinách po resuscitácii nemusí vykazovať známky devastačného štrukturálneho poškodenia mozgu a je vhodné čakať ho až s odstupom minimálne 24 až 48 hodín.

Ďalším špecifickým prípadom je *dekompresívna kraniektómia*, ktorá je indikovaná s cieľom znížiť intrakraniálny tlak (ICP), ku ktorému obyčajne dochádza okamžite po výkone (Bor-Seng-Shu et al., 2012). Walter et al. opisujú prípad 72-ročného muža po dekompresívnej kraniektómii pre závažné cerebelárne krvácanie s príznakmi areflexie mozgového kmeňa, u ktorého došlo po 35 hodinách od výkonu k prechodnej spontánnej respiračnej aktivite (Walter et al., 2022). V ojedinelých prípadoch k zníženiu ICP nedochádza hneď po výkone, ale môže nastať až po niekoľkých hodinách

**Obr. 3.** Príznak bieleho mozočka (*hyperdenzný mozoček* u 21-ročnej ženy, stav po kardiopulmonálnej resuscitácii pre asystóliu)



vrátane markantného zlepšenia neurologického stavu (Cunan et al., 2023). Vzhľadom na podobné kazuistiky pacientov s oddialeným (prechodným alebo trvalým) zlepšením neurologického stavu nabádajú recentné odporúčania na zvýšenú opatrnosť a predĺženie observácie alebo indikáciu konfirmačného vyšetrenia u pacientov po dekompresii (Greer et al., 2020; Greer et al., 2023; Shemie et al., 2023). Recentne vo Veľkej Británii zaraďuje *Faculty of Intensive Care Medicine* dekompresívnu kraniektómiu medzi indikácie konfirmačného vyšetrenia pri diagnostike BD/DNC (Gardiner, 2022).

## Kontraindikácie diagnostiky

Ďalším pilierom správnej diagnostiky BD/DNC je vylúčiť *prechodné alebo trvalé kontraindikácie*, čiže všetky stavy, ktoré majú potenciál ovplyvniť a skresliť klinické vyšetrenie a viesť k falošnej pozitivite mozgovej smrti. Kontraindikácie sú v SR a ČR kritériách určené, ale nie sú bližšie presne definované (Obr. 1 a Obr. 2).

*Hypotermia* má významný vplyv na diagnostiku BD/DNC, či už cez priamy tlmivý vplyv na metabolizmus a funkcie mozgu, alebo nepriamo cez akumuláciu tlmivých liekov pri hypotermii indukovanej zmene ich farmakokinetiky. Vzhľadom na neuroprotektívny účinok hypotermie sú v literatúre opísané viaceré prípady úspešnej resuscitácie po dlhšom topení sa v ľadovej vode. Extrémnym príkladom prežitia je prípad švédskej lekárky Anny Bågenholm, ktorá prežila 80-minútové topenie v ľadovej vode, pričom jej telesná teplota klesla na 13,7 °C a došlo u nej ku kardiopulmonálnemu zlyhaniu

a cerebrálnej areflexii. Jej zdravotný stav sa následne prakticky úplne upravil (Gilbert et al., 2000). WBDP určuje ako predpoklad diagnostiky BD/DNC teplotu telesného jadra minimálne 36 °C. V prípade riadenej hypotermie sa pred diagnostikou BD/DNC vyžaduje observácia stavu 24 hodín po zohriatí na teplotu minimálne 36 °C (Greer et al., 2020).

WBDP kritériá definujú hodnotu *systolického krvného tlaku* minimálne 100 mmHg alebo *stredného arteriálneho tlaku* krvi minimálne 60 mmHg u dospelých. Tlak krvi u detí by mal byť v hodnotách normy pre konkrétnu vekovú kategóriu (Greer et al., 2020).

V SR odporúčaniami je síce určené 12-hodinové okno bez blokátorov neuromuskulárneho prenosu a *liekov* tlmiacich CNS, avšak v bežnej klinickej praxi sa toto okno obyčajne predlžuje. Kanji et al. rozpracovali vo svojej prehľadovej práci faktory na strane pacienta, podaného lieku a ochorenia, ktoré môžu ovplyvniť predĺženie účinku lieku a tým aj významne ovplyvniť klinické neurologické vyšetrenie diagnostiky BD/DNC (Kanji et al., 2023). Kritériá diagnostiky podľa WBDP sú v otázke vylúčenia pretrvávajúcich relaxačných a tlmiacich účinkov liekov, drog a alkoholu vrátane intoxikácií opatrnejšie a odporúčajú: pri podozrení na intoxikáciu je indikované toxikologické vyšetrenie; vyšetrenie krvných koncentrácií liekov; v prípa-

de nemožnosti vyšetrenia krvných koncentrácií liekov a normálnej funkcie pečene a obličiek sa odporúča ako čas observácie klinického stavu minimálne 5-násobok polčasu eliminácie látky; v prípade podozrenia na predĺženú elimináciu (poškodenie pečene, obličiek) alebo neznámu dĺžku biologického polčasu látky sa navrhuje vykonať konfirmačný test; koncentrácia alkoholu v krvi musí byť maximálne 0,8 ‰; pri použití blokátorov neuromuskulárneho prenosu je potrebné vylúčiť svalovú relaxáciu pomocou kvantitatívneho monitoringu neuromuskulárnej blokády (TOF stimulátor), poprípade vyšetrením šlachovo-okosticových reflexov (Greer et al., 2020). TOF (train-of-four) je zlatým štandardom peroperačného monitorovania hĺbky svalovej relaxácie. Štandardne sa stimuluje n. ulnaris štyrmi supramaximálnymi pulzami s frekvenciou 2 Hz. Hodnotí sa výbavnosť a amplitúda štyroch svalových odpovedí T1–T4 z m. adductor pollicis (bližšie Rodney et al., 2024).

*Závažné metabolické a endokrinné poruchy* musia byť korigované pred diagnostikou BD/DNC, pričom presné návrhy laboratórnych hodnôt v SR, ČR a ani vo WBDP odporúčaní neexistujú. V roku 2021 bol publikovaný expertný konsenzus Spoločnosti pre neurointenzívnu starostlivosť ohľadom vybraných laboratórnych hodnôt, ktoré sú kontraindikáciou diagnostiky BD/DNC (Lerner et al.,

2021). Tieto parametre prebrali aj odporúčania diagnostiky v USA (Greer et al., 2023; dostupné na: [links.lww.com/WNL/D76](https://links.lww.com/WNL/D76)).

*Špecifické úrazy v oblasti hlavy a krku* môžu viesť k znemožneniu vykonania kompletneho klinického vyšetrenia a mali by byť indikáciou na doplnkový konfirmačný test v podmienkach diagnostiky v SR. Do tejto skupiny úrazov patria napríklad úrazy horného úseku krčnej chrbtice (ovplyvnenie apnoického testu, vyšetrenie okulocefalických reflexov, hodnotenia motorických odpovedí končatín v rámci vyšetrenia GCS), fraktúra pyramídy temporálnej kosti (vestibulookulárny reflex na strane lézie), trauma tváre vrátane očí (pupilárny, korneálny, vestibulookulárny, okulocefalický reflex, odpoveď na bolestivý podnet) (Greer et al., 2020).

## Záver

Kritériá smrti mozgu sú v SR a ČR definované legislatívne. Poznatky z posledných rokov presnejšie charakterizujú jednotlivé predpoklady a kontraindikácie diagnostiky mozgovej smrti a pomáhajú aspoň z časti odstraňovať vágnosť, s akou sú definované v odporúčaníach obidvoch krajín. Samotnej metodike klinického neurologického vyšetrenia a konfirmačným testom sa venujeme v ďalších článkoch hlavnej témy tohto čísla časopisu (Hollý et al., 2025; Ostrý et al., 2025; Vorčák et al., 2025).

## LITERATÚRA

- ALfaifi MS, ALOtaibi AE, AlQahtani SA, et al. Cobra snakebite mimicking brain death treated with a novel combination of polyvalent snake antivenom and anticholinesterase. *Am J Emerg Med.* 2020 Nov;38(11):2490.e5-2490.e7.
- Bor-Seng-Shu E, Figueiredo EG, Amorim RL, et al. Decompressive craniectomy: a meta-analysis of influences on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in the treatment of traumatic brain injury. *J Neurosurg.* 2012 Sep;117(3):589-96.
- Corrêa DG, de Souza SR, Nunes PGC, et al. The role of neuroimaging in the determination of brain death. *Radiol Bras.* 2022 Nov-Dec;55(6):365-372.
- Cunan ET, Dudley RWR, Shemie SD. Delayed recovery from severe refractory intracranial hypertension due to expansion of skin and pericranium stretch after decompressive craniectomy. *Can J Anaesth.* 2023 Apr;70(4):796-801.
- Freund B, Hayes L, Rivera-Lara L, et al. Adult intestinal colonization botulism mimicking brain death. *Muscle Nerve.* 2017 Oct;56(4):E27-E28.
- Gardiner D. Additional FICMPAS guidance for decompressive craniectomy and diagnosing death using neurological criteria (DNC). *Critical Care.* 2022;21:38-39.
- Gilbert M, Busund R, Skagseth A, et al. Resuscitation from accidental hyperthermia of 13.7 degrees C with circulatory arrest. *Lancet.* 2000 Jan 29;355(9201):375-6.
- Greer DM, Shemie SD, Lewis A, et al. Determination of Brain Death/Death by Neurologic Criteria: The World Brain Death Project. *JAMA.* 2020 Sep 15;324(11):1078-1097.

- Greer DM, Kirschen MP, Lewis A, et al. Pediatric and Adult Brain Death/Death by Neurologic Criteria Consensus Guideline. *Neurology.* 2023 Dec 12;101(24):1112-1132.
- Hollý P, Kunáš Z, Pokorná E, et al. Klinické stanovení smrti mozku – metodika neurologického vyšetření a apnoického testu. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):109-116.
- Kanji S, Williamson D, Hartwick M. Potential pharmacological confounders in the setting of death determined by neurologic criteria: a narrative review. *Can J Anaesth.* 2023 Apr;70(4):713-723.
- Krause M, Hocker S. Toxin-Induced Coma and Central Nervous System Depression. *Neurol Clin.* 2020 Nov;38(4):825-841.
- Kurča E, Sivák Š. História definovania a stanovenia smrti. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):97-102.
- Lerner DP, Bassil R, Tadevosyan A, et al. Metabolic values precluding clinical death by neurologic Criteria/Brain death: Survey of neurocritical care society physicians. *J Clin Neurosci.* 2021 Jun;88:16-21.
- Lewis A. An Update on Brain Death/Death by Neurologic Criteria since the World Brain Death Project. *Semin Neurol.* 2024 Jun;44(3):236-262.
- Lewis A, Bakkar A, Kreiger-Benson E, et al. Determination of death by neurologic criteria around the world. *Neurology.* 2020 Jul 21;95(3):e299-e309.
- Lewis A, Bernat JL. Death Determination by Neurologic Criteria. Areas of Consensus and Controversy. Springer (Cham). 2022.
- Martinková J, Chrástina M, Cingelová M, Valkovič P. Mozgová smrť – medicínske aspekty, legislatívne normy v Slovenskej republike. *Neurol. praxi.* 2015;16(3):140-143.

- Murphy L, Wolfer H, Hendrickson RG. Toxicologic Confounders of Brain Death Determination: A Narrative Review. *Neurocrit Care.* 2021 Jun;34(3):1072-1089.
- Neves Briard J, Plourde G, Nitucescu R, et al. Infratentorial Brain Injury Among Patients Suspected of Death by Neurologic Criteria: A Systematic Review and Meta-analysis. *Neurology.* 2023 Jan 24;100(4):e443-e453.
- Ostrý S, Holečková I, Sivák Š, et al. Elektrofyziologická vyšetření potvrzující smrt mozku. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):117-121.
- Rodney G, Raju P, Brull SJ. Neuromuscular block management: evidence-based principles and practice. *BJA Educ.* 2024 Jan;24(1):13-22.
- Sarna MK, Shah S, Rijhwani P, et al. Guillain Barre syndrome mimicking brain death. *JR Coll Physicians Edinb.* 2024 Jun;54(2):138-143.
- Shemie SD, Wilson LC, Hornby L, et al. A brain-based definition of death and criteria for its determination after arrest of circulation or neurologic function in Canada: a 2023 clinical practice guideline. *Can J Anaesth.* 2023 Apr;70(4):483-557.
- Spears WE, Lewis A, Bakkar A, et al. What does "brainstem death" mean? A review of international protocols. *Can J Anaesth.* 2023 Apr;70(4):651-658.
- Vorčák M, Poláček H, Trabalková Z, et al. Diagnóza mozgovej smrti a úloha pomocných zobrazovacích metód. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):122-128.
- Walter U, Eggert M, Walther U, et al. A red flag for diagnosing brain death: decompressive craniectomy of the posterior fossa. *Can J Anaesth.* 2022 Jul;69(7):900-906.

# Klinické stanovení smrti mozku – metodika neurologického vyšetření a apnoického testu

MUDr. Petr Holly<sup>1,2,3</sup>, MUDr. Zdeněk Kunáš<sup>3</sup>, doc. MUDr. Eva Pokorná, CSc.<sup>4</sup>, prof. MUDr. Štefan Sivák, Ph.D.<sup>5</sup>, MUDr. Denisa Osinová<sup>6</sup>, doc. MUDr. Juraj Miklušica, Ph.D.<sup>7</sup>, doc. MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.<sup>3,8</sup>

<sup>1</sup>Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze

<sup>2</sup>Ústav soudního lékařství a toxikologie 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze

<sup>3</sup>Neurologické oddělení, Nemocnice České Budějovice, a. s., České Budějovice

<sup>4</sup>Odborné edukační pracoviště pro dárcovství orgánů, Institut klinické a experimentální medicíny, Praha

<sup>5</sup>Neurologická klinika, Jesseniova lékařská fakulta UK v Martine a Univerzitná nemocnica Martin, Martin

<sup>6</sup>Klinika anesteziologie a intenzivnej medicíny, Jesseniova lékařská fakulta UK v Martine a Univerzitná nemocnica Martin, Martin

<sup>7</sup>Klinika všeobecnej, viscerálnej a transplantačnej chirurgie, Univerzita Komenského v Bratislave, Jesseniova lékařská fakulta UK, Bratislava

<sup>8</sup>Neurochirurgická a Neuroonkologická klinika, 1. lékařská fakulta, Univerzita Karlova v Praze a Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice, Praha

Smrt mozku definujeme jako stav po katastrofálním poškození mozku s trvalou nevratnou ztrátou všech funkcí celého mozku, včetně kmene. Stanovení diagnózy je založeno na klinickém vyšetření, kdy je zcela nepřijatelná falešná negativita jednotlivých testů, které podporují ireverzibilní poškození mozku od mesencefala (fotoreakce) přes pons Varoli (korneální, okulocefalický reflex a algické podráždění v obličeji) až po prodlouženou míchu (dávivý a kašlací reflex). V současné době není jasně stanovená metodika provedení jednotlivých vyšetření. Tento článek pojednává o základním klinickém vyšetření při stanovení smrti mozku a apnoickém testu. Součástí publikace je rovněž soubor videí, která ukazují pozitivní nález při stanovení smrti mozku (čili areflexii) a nález, který není kompatibilní se smrtí mozku (přítomnost normální odpovědi).

**Klíčová slova:** smrt mozku, neurologické vyšetření, apnoický test, funkce mozku kmene, reflexy mozku kmene.

## Clinical determination of brain death – methodology of neurological examination and apnea test

We define brain death as a condition following catastrophic brain injury with permanent irreversible loss of all functions of the entire brain, including the brain stem. Diagnosis is based on clinical examination, where are completely unacceptable false negative individual tests that support irreversible brainstem involvement from the mesencephalon (photoreaction) to the pons Varoli (corneal, oculocephalic reflex and facial alginic irritation) to the medulla oblongata (gag and cough reflex). At present, the methodology for performing each examination is not clearly established. This article discusses the basic clinical examination in the determination of brain death and the apnea test. The publication also includes a set of videos that show a positive finding in the determination of brain death (absence of reflex) and a finding that is not compatible with brain death (presence of a normal response).

**Key words:** brain death, neurological examination, apnea test, brain stem function, brain stem reflexes.

### DECLARATIONS:

#### Declaration of originality:

The manuscript is original and has not been published or submitted elsewhere.

#### Ethical principles compliance:

The authors attest that their study was approved by the local Ethical Committee and is in compliance with human studies and animal welfare regulations of the authors' institutions as well as with the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects adopted by the 18<sup>th</sup> WMA General Assembly in Helsinki, Finland, in June 1964, with subsequent amendments, as well as with the ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, updated in December 2018, including patient consent where appropriate.

#### Conflict of interest:

Not applicable.

#### Consent for publication:

Not applicable.

Podpořeno projektem Národní ústav pro neurologický výzkum (Program EXCELES, ID: LX22NPO5107) – Financováno Evropskou unií – Next Generation EU; výzkumným programem Karlovy univerzity: Cooperatio Neuroscience; projektem Všeobecné fakultní nemocnice v Praze MZ ČR-RVO-VFN64165.

Cit. zkr: *Neurol. praxi.* 2025;26(2):109-116

<https://doi.org/10.36290/neu.2024.078>

Článek přijat redakcí: 14. 9. 2024

Článek přijat k publikaci: 17. 11. 2025

MUDr. Petr Holly  
petr.holly@vfn.cz

## Úvod

Smrt mozku (SM) je stav, kdy jedinec utrpěl katastrofální poškození mozku, které vedlo k nevratné, trvalé ztrátě všech funkcí celého mozku, včetně kmene (Greer et al., 2023). Stav je definován hlubokým kómatem, kmenovou areflexií a ztrátou spontánní dechové aktivity vyvolané adekvátními podněty (hyperkapnie, acidóza) (Greer et al., 2020; Shemie et al., 2006). Konsenzuální doporučení je pro nahrazení termínu „smrt mozku“ termínem „smrt dle neurologických kritérií“, v originálu: „brain death/death by neurologic criteria (BD/DNC)“. Jako hlavní důvod je uváděna skutečnost, že více než ke smrti mozku spíše došlo ke smrti osoby. BD/DNC je stavěno na roveň „smrti dle kardiopulmonálních kritérií“. Snahou projektu World Brain Death Project je celosvětově sjednotit kritéria stanovení BD/DNC (Greer et al., 2020). Obdobný cíl si rovněž klade tento článek a Sivákův článek (Sivák et al., 2025). Klinické vyšetření (a tedy zmíněná neurologická kritéria) však stanovuje pouze smrt mozkuvého kmene, a nikoliv smrt celého mozku. Ta se stanovuje potvrzujícím vyšetřením (PV) (Ostrý et al., 2025). Nicméně výsledný dopad na jedince – jeho smrt – je stejný.

Stanovení diagnózy BD/DNC je založeno většinou na klinickém vyšetření (Greer et al., 2020). Klinické vyšetření je zaměřeno na průkaz ztráty všech kmenových reflexů. Tím prokazujeme poškození ascendentního retikulárního aktivačního systému, tedy nevratnost kómatózního stavu (Greer et al., 2023).

Anketa z roku 2019 (Braksick et al., 2019) odhalila, že pouze 76 % lékařů, kteří stanovují BD/DNC, bylo proškoleny, jak toto vyšetření provádět, pouhých 25 % respondentů provádělo vyšetření BD/DNC v souladu se současnými pokyny, 10 % lékařů neuvedlo provádění apnoického testu; 28 % lékařů uvedlo, že provádí PV v případech, že pacient během apnoického testu dýchá (klinický nálezn vylučuje BD/DNC).

V současné době neexistuje optimální školení klinického vyšetření. Figuríny k nácviku neumí simulovat zachované funkce mozkuvého kmene s výjimkou zachovaného dýchání (Wijdicks, 2020). Přitom vyšetření BD/DNC neposkytuje žádný prostor k falešné pozitivitě. Z literatury např. vyplývá, že dle popisu provedení testu jeden z pěti odborníků netestuje korneální reflex správně (Maciel et al., 2020).

Cílem práce je stanovení jednotné metody klinického vyšetření a hodnocení pro účely diagnostiky BD/DNC. Podporou pro exaktní a jednotné provedení a interpretaci má sloužit doprovodný materiál zobrazující pozitivní nálezn – absenci reflexu (video A), i negativní nálezn – přítomnost reflexu (video B).

Než začneme klinické vyšetření BD/DNC, musí být splněny tyto podmínky:

- pacient utrpěl katastrofální, trvalé poškození mozku,
- je znám mechanismus poškození mozku a je o něm známo, že vede k BD/DNC,
- zobrazení mozku musí být v souladu s mechanismem a závažností poškození mozku,
- musí být natolik dlouhá doba sledování, aby potvrdila závažnost a nevratnost poškození a eliminovala veškerá zkraslení (confounders),
- musí být tělesná teplota > 36,0 °C (Lewis et al., 2020); je-li teplota < 35,5 °C, pak lze vyšetření provést nejdříve za 24 hodin po ohřátí na teplotu vyšší než 36,0 °C,
- musí být systolický krevní tlak ≥ 100 mmHg a zároveň střední arteriální tlak ≥ 75 mmHg,
- není vliv farmak – absence myorelaxace, vlivu anestetik a jiných farmak tlumících CNS (toxikologie z moči i krve je negativní, hladina alkoholu je pod 0,8 ‰, uplynulo ≥ 5 poločasů eliminace všech tlumivých léků při normálních renálních a jaterních funkcích),
- není vliv závažné poruchy elektrolytové, acidobazické rovnováhy (definovaná závažnou acidózou nebo výraznými laboratorními odchylkami od normy), ani endokrinní (včetně hypotyreózy).

## Odlíšnosti u pediatrického pacienta

Pro pediatrické pacienty platí, aby bylo hodnocení BD/DNC provedeno nejdříve za 24–48 hodin od inzultu, při rozpacích později. Rovněž je doporučeno časový odstup mezi 1. a 2. vyšetřením BD/DNC přizpůsobit adjustovanému věku (24 hodin u donošených novorozenců ve 37. gestačním týdnu až do 30. dne života, 12 hodin u kojenců a dětí od 31. dne do 18 let) (Nakagawa et al., 2011). U osob mladších 6 měsíců se doporučuje testovat sací a „rooting“ (vyhledávací) reflex.

Dalšími nutnými podmínkami odlišnými od dospělých jsou (Nakagawa et al., 2011; Wijdicks et al., 2010):

- tělesná teplota ≥ 35,0 °C,
- systolický krevní tlak ≥ 2 směrodatné odchylky na dolní hranici věkově vázané normy nebo střední arteriální tlak ≥ 5. percentilu pro odpovídající věk,
- vyloučena intoxikace drogami včetně alkoholu – dle znění stanoviska The American College of Medical Toxicology z roku 2017 (Neavyn et al., 2017),
- absence vlivu blokátorů nervosvalového přenosu potvrzena testem čtyř pulzů „train-of-four“ (TOF); TOF je test určený k orientačnímu sledování hloubky/stupně myorelaxace; stimuluje se standardizovaně n. ulnaris čtyřmi supramaximálními pulzy frekvence 2 Hz; hodnotí se výbavnost a amplituda čtyř svalových odpovědí T1–T4 m. abductor digiti quinti,
- kompenzovaná porucha vnitřního prostředí (elektrolyty, glykemie, acidobáze, jaterní a renální funkce nebo vrozené metabolické poruchy – rizika reverzibilního kómatu).

## Soubor klinických vyšetření

Klinické vyšetření v praxi naráží na úskalí, která mohou zapříčinit nejistotu validity vyšetření. Několik základních testů poskytuje velmi přesné informace o zachově funkce mozkuvého kmene od mesencefala (fotoreakce) přes pons Varoli (korneální, okulocefalický reflex – OCR a algické podráždění v obličejí) až po prodlouženou míchu (dávivý a kašlací reflex).

Doporučuje se, aby byly vyšetřeny všechny níže uvedené testy (viz také Tab. 1).

- Pokud lokální stav nedovoluje jakoukoliv část vyšetření provést, nebo hodnocení je nemožné, neúplné nebo nespolehlivé (nejčastěji devastující nebo ztrátové poranění v obličejové části), pak je povinnost provést PV (Greer et al., 2020). Toto pravidlo platí obecně pro stanovení BD/DNC.
- V ČR není pevné doporučení pro interval mezi prvním a druhým klinickým vyšetřením, pouze u dětí do 1 roku věku jsou povinná dvě vyšetření v odstupu minimálně 48 hodin. Interval 6 hodin u dospělých je pouze arbitrární, ale neexistují pro něj důkazy. Na Slovensku je legislativně zaktoven interval minimálně 2 hodin mezi

prvním a druhým klinickým vyšetřením, v ČR se u jedinců starších 1 roku provádí povinně jedno klinické vyšetření. Jedná se ale pouze o legislativní podmínky v rámci diagnostiky smrti mozku u možných dárců orgánů.

## Klinické neurologické vyšetření

### Hluboké bezvědomí – stanovení hodnoty Glasgow Coma Scale

#### Metodika vyšetření

Pomocí Glasgow Coma Scale (GCS) hodnotíme kvantitativní poruchu vědomí a její hloubku. Stupnice se skládá ze tří hodnotených položek (otevření očí, nejlepší slovní

a nejlepší motorická odpověď), kde každá číselná hodnota odpovídá nejvyššímu dosaženému stupni odpovědi pacienta na daný podnět (Tab. 2).

Pro diagnostiku BD/DNC musí mít pacient GCS 3, tudíž nejmenší možné. GCS zpravidla vyšetřujeme již v rámci ostatních modalit, především při algickém stimulu, kdy nedojde k žádné odpovědi. Sledujeme při tom oči – jsou zavřené, pacient je neotevře po podnětu ani není náznak aktivního svírání očí (netvoří se vrásky kolem očí při algickém podnětu). Pacient nevydává žádné zvuky při algickém podnětu a končetiny jsou atonické, bez pohybu. Výjimkou jsou míšní odpovědi, které mohou být přítomné (popsány níže) (Wijdicks, 2020).

Jakákoliv reakce na zrakovou, sluchovou nebo taktilní stimulaci vylučuje BD/DNC (level A) (Greer et al., 2023).

### Zornicová reakce (fotoreakce)

#### Metodika vyšetření

Fotoreakci vyšetříme v přítmí. U pacienta s poruchou vědomí pasivně zvedneme obě horní víčka, abychom viděli celé zornice na obou stranách. Dostatečně intenzivním zdrojem světla posvítíme jednotlivě postupně do obou zornic.

**Reflexní odpověď:** mióza ipsilaterální nebo bilaterální.

**Areflexie:** nesmí nastat žádná změna velikosti zornic.

**Tab. 1.** Klinické vyšetření pro stanovení smrti mozku a doporučení k provedení pomocného vyšetření (převzato z Greer et al., 2020)

Test	Způsob provedení	Odpověď konzistentní se smrtí mozku (BD/DNC)	Další doporučení
Stav vědomí	Vyšetření GCS	Žádný průkaz vědomí po maximální stimulaci (zrakové, sluchové, algické).	
Fotoreakce	Osvit jasným světlem do očí a změření průměru zornic. Doporučuje se použít lupu a/nebo pupilometr. Vyšetřuje se oboustranně.	Oboustranně (ipsi- i kontralaterálně) chybí jakákoliv reakce na osvit (zúžení i rozšíření) zornice. Zornice jsou fixovány ve středně velké nebo rozšířené poloze (≈4–6 mm).	1) Zúžené zornice neodpovídají BD/DNC a je zde možnost intoxikace nebo locked-in syndromu. 2) Zornice mohou mít jakýkoli tvar (kulaté, oválné, nepravidelné). 3) Úraz rohovky nebo předchozí oční zákrok může ovlivnit reaktivitu zornic a znemožnit vyhodnocení. 4) Instilace léků do oka může uměle vyvolat přechodně areaktivní zornice. 5) Při anoftalmii či slepotě se doporučuje PV.
Korneální reflex	Dotyk s mírným tlakem vatovým tamponem na rohovku na vnějším okraji duhovky mimo zorné pole. Sledujte, zda se nepohybují oční víčka. Vyšetřuje se oboustranně.	Nesmí být žádný patrný pohyb očních víček.	1) Je třeba dbát na to, aby nedošlo k poškození rohovky. 2) Anoftalmie, závažný otok orbity nebo skléry, přímé trauma oka, chemóza, předchozí transplantace rohovky vyžaduje provedení PV.
OCR a OVR	OCR: Prudké otočení hlavou o 90° horizontálně na obě strany – oči se nepohybují s pohyby hlavou. Vertikální zkouška je nepovinná. OVR: zvukovod je průchodný, bubínek je celistvý, hlava je v úhlu 30°. Aplikace 30 ml ledové vody po dobu 60 s injekční stříkačkou do zevního zvukovodu. Testování kontralaterálně nejdříve za 5 min.	Chybí pohyby bulbů. Detekce jakýchkoli pohybů bulbů není slučitelná se BD/DNC.	1) Nejprve vyloučíme poranění krční páteře. Pokud nelze provést OCR, ale OVR je abnormální, není nutné PV. 2) Přítomnost prasklé membrány bubínku může představovat riziko zanesení infekce do ucha. 3) Zlomenina baze lební nebo spánkové kosti může vést k absenci odpovědi na straně zlomeniny, pak se doporučuje PV. 4) Velký otok či chemóza orbity či sklér může ovlivnit pohyb bulbů a pak se doporučuje PV. 5) V případě anoftalmie je vyžadováno provedení PV.
Motorická reakce v obličeji a na končetinách	Tlačte silně na tyto oblasti: 1) temporomandibulární klouby, 2) obě nadočnicové rýhy, 3) sternum, 4) všechny končetiny proximálně i distálně Vložte vatový tampon do každé nosní díry a zašimrejte zde.	Algické podněty nad foramen magnum nevyvolají žádný pohyb v obličeji ani na trupu. Algické podněty pod foramen magnum nevyvolají žádný pohyb v obličeji, ale mohou vyvolat pohyb na trupu (spinální reflexy).	1) Rozlišení míšních a mozkových motorických reakcí vyžaduje klinickou zkušenost. Pokud je původ reakce nejasný, doporučuje se konzultace se zkušeným lékařem či provedení PV. 2) Při závažném nervosvalovém onemocnění (ALS, neuropatie) se doporučuje provedení PV. 3) Pokud osoba nemá všechny končetiny, absence končetiny nevylučuje motorické vyšetření na bolest na dané straně těla – PV není nutné. 4) Těžké poranění nebo otok obličeje může znemožnit vyhodnocení motorické odpovědi obličeje, zde je vyžadováno provedení PV.
Dávivý a kašlací reflex	Dávivý reflex: stimulujte oboustranně zadní stěnu hltanu pomocí špátle nebo odsávací cévky. Kašlací reflex: stimulujte tracheobronchiální stěnu do úrovně kariny hlubokou endotracheálně zavedenou odsávací cévkou.	Absence dávení a kašle.	Eferentní dráha pro kašlací reflex jde přes n. phrenicus – pozor na možné poškození u osob s vysokým krčním míšním poraněním. Zde je vyžadováno provedení PV.

BD/DNC – smrt mozku; OCR – okulocefalický reflex; OVR – okulovestibulární reflex; PV – potvrdující vyšetření

Tab. 2. Glasgow Coma Scale

Otevření očí	Slovní odpověď	Motorická odpověď
1 – bez reakce	1 – bez reakce	1 – bez reakce
2 – na bolestivý podnět	2 – nesrozumitelné zvuky	2 – necílená extenze končetiny (decerebrační rigidita)
3 – na slovní podnět	3 – jednotlivá nesouvisející slova	3 – necílená flexe končetiny (dekortikační rigidita)
4 – spontánní	4 – zmatená	4 – úniková reakce (pohyb směřuje od podnětu)
	5 – normální	5 – lokalizace podnětu (pohyb směřuje k podnětu)
		6 – cílený pohyb podle instrukcí

Doporučeno je použít čtecí lupu (zvětšení 2,5–5×). Pupilometr je možný, ale není podmínkou.

Obvyklý průměr zornice je 4–6 mm. Při průměru zornice mimo tento interval je třeba vyloučit jiné příčiny – u mydiázy premorbidní oční invaze nebo trauma bulbu; u miózy především intoxikaci opiáty (Khandelwal et al., 2019) nebo trauma mozkového kmene. Ukázalo se, že průměr zornic u SM byl  $\geq 4$  mm (Sagishima et Kinoshita, 2017).

Video 1A ukazuje absenci fotoreakce a video 1B ukazuje přítomnou fotoreakci.

### Anatomicko-patofyziologické souvislosti

Fotoreakce je proces, při němž zvýšení intenzity světla vyvolá zmenšení průměru zornice (miózu). Toto vyšetření nám přináší informaci o funkci mesencefala. Aferentní část reflexu je shodná s optickou dráhou, po zkřížení v chiasma opticum se z traktu odělují spoje do pretektální oblasti mesencefala. Každá pretektální oblast vysílá signály do pregangliových parasympatických jader v mesencefalu (Edingerovo-Westphalovo jádro). Eferentní parasympatická pregangliová vlákna putují prostřednictvím n. oculomotorius přímo k m. sphincter pupillae, jehož stah vede k mióze (Smith et Cysz, 2024).

### Korneální reflex

#### Metodika vyšetření

Pro vybavení korneálního reflexu rozevřeme víčka a mírným tlakem podráždíme zevní část rohovky sterilním smotkem vaty (nedráždíme spojivku). Víčka rozevíráme co nejmenší silou, abychom případnou reakci oka zaznamenali.

**Reflexní odpověď:** mrknutí až sevření obou očních víček.

**Areflexie:** žádný pohyb víček.

Smotek vaty nepřibližujeme přímo proti oku, ale vždy ze strany mimo zorné pole (vyhýbáme se provokaci obranného mrkacího reflexu). Tlak na rohovku musí být přiměřený. Dostatečný k její mírné deformaci, avšak nesmí rohovku poškodit.

**Pomůcka:** rohovku atraumaticky stimulujeme kapáním sterilního fyziologického roztoku. Odpověď je stejná jako při mechanickém podráždění (mrknutí).

Video 2A ukazuje správnou techniku korneálního reflexu a jeho absenci a video 2B ukazuje přítomný korneální reflex.

### Anatomicko-patofyziologické souvislosti

Korneální reflex je zprostředkován reflexním obloukem, který je tvořen extero-receptory rohovky, aferentní část zajišťuje n. ophthalmicus (1. větev n. trigeminus). Přepojení na eferentní část reflexního oblouku je oligosynaptické ipsilaterální a polysynaptické bilaterální. Eferentní dráhu tvoří vlákna n. facialis inervující m. orbicularis oculi oboustranně. Toto vyšetření nám přináší informaci o funkci Varolova mostu.

### Okulocefalický a okulovestibulární reflex

#### Metodika vyšetření

OCR se u pacienta v bezvědomí provádí vleže na zádech. Vyšetřující drží pacientovu hlavu oběma rukama, víčka jsou otevřená (palci rukou vyšetřujícího, nebo lépe fixace horních víček náplastí).

Úvodní pozice hlavy je v rotaci 45° do jedné strany. Rychle rotujeme hlavu o 90° kontralaterálně (za < 1 sekundu). Konečná poloha hlavy (rotace 45° na druhou stranu) je výchozí polohou pro vyšetření v opačném směru.

**Reflexní odpověď:** pohyb bulbů opačným směrem, než je rotace hlavy (oči fixují obraz na sítnici).

**Areflexie:** absence jakéhokoliv pohybu bulbů.

Jakýkoliv pohyb bulbů proti směru rotace je známkou zachované kmenové funkce.

Vyšetření ve vertikálním směru se provádí i hodnotí analogicky, vyšetření je nepovinné, avšak hodnocení je obtížnější. Lze provést v případě nejasnosti horizontálního testu. OCR by se neměl provádět, pokud není vyloučeno poranění krční páteře nebo míchy.

**Pomůcka:** Označíme meridián oka (duhovky) na horním víčku fixou. Po provedení rotace hlavu porovnáme pozici oka k dříve označenému meridiánu.

Video 3A ukazuje správnou techniku a abnormální horizontální a vertikální OCR a video 3B ukazuje normální odpověď při OCR.

Pokud OCR nelze oboustranně testovat, musí být proveden oboustranně okulovestibulární reflex (OVR), a pokud je oboustranně nepřítomná reakce na něj, pak je toto kritérium BD/DNC splněno (level A) (Greer et al., 2023).

OVR testujeme vleže na zádech, při hlavě zvednuté do úhlu 30°. Cesty k bubínkové membráně, která je neporušená, musí být volné. Stříkačku o dostatečném objemu (50 ml) naplníme ledovou vodou (0 °C) a pomalu proplachujeme zevní zvukovod po dobu 60 s.

**Reflexní odpověď:** vychýlení bulbů směrem ke stimulovanému uchu a kontralaterální horizontálně rotační nystagmus.

**Areflexie:** absence jakéhokoliv pohybu bulbů.

Kontralaterální vyšetření je možné provést nejdříve po 5 minutách (nutno pro opětovné vyrovnání teploty endolymfy na testovaném uchu).

Testování reflexu se neprovádí při podezření na trauma baze lební, protože odpověď nemusí být objektivní a dále může dojít k narušení zvukovodu nebo bubínku. Přítomnost těžkého traumatu očníce může ovlivnit rozsah pohybu očních bulbů a může vyšetření tohoto reflexu znemožnit.

Video 4A ukazuje správnou techniku a abnormální absenci OVR a video 4B ukazuje normální odpověď při OVR.

**Anatomicko-patofyziologické souvislosti**

OVR vychází ze spojení mezi laterálními polokruhovými kanálky, ipsilaterálním jádrem n. abducens, mediálními vestibulárními jádry, fasciculus longitudinalis medialis a částí nervových vláken kontralaterálního n. oculomotorius pro m. rectus medialis.

**Motorické reakce na algické podráždění****Metodika vyšetření**

Provádíme algickou stimulaci kraniální (n. trigeminus) a spinální. Sledujeme a hodnotíme motorickou odpověď v etáži kraniálních nervů a spinální úrovně.

**Zóna kraniální:**

*Stimulace:* silný tlak na oblasti temporo-mandibulárních kloubů, nadočnicových oblouků, stimulace nasální sliznice.

*Odpověď:* absence všech motorických reakcí na obou etážích: kraniální i spinální.

**Zóna spinální:**

*Stimulace:* silný tlak na sternum, na všech končetinách proximálně i distálně (rukojetí kladívka na eponychium).

*Odpověď:* absence motorických odpovědí na kraniální úrovni (mozkově řízené). Motorická reakce na spinální etáži může být přítomná. Spinální reflexní odpovědi je nutno odlišit od pohybů zprostředkovaných mozkiem. Při nejistotě interpretace je vhodné konzultovat zkušeného odborníka.

Mezi míchou řízené pohyby řadíme: reakce plantárních flexorů/extenzorů, příznak trojflexe, břišní reflexy, kremasterový reflex, cervikální tonické reflexy, izolované záškuby horních končetin, jednostranné extenčně-pronační pohyby, asymetrické opistotonické držení trupu, undulující pohyby prstů, myoklonus, pohyby podobné respiračním, kontrakce kvadricepsu a pohyby nohou napodobující periodické pohyby dolních končetin (Greer et al., 2020; Jain et DeGeorgia, 2005; Saposnik et al., 2005).

*Cave:* Závažné neuromuskulární onemocnění nebo trauma obličejce může zkreslit hodnocení motorických reakcí. Za těchto podmínek je PV povinné.

Video 5A ukazuje techniku algické stimulace a absence odpovědi – tedy areflexii, video 5B ukazuje reakci na algický podnět.

**Anatomicko-patofyziologické souvislosti**

N. trigeminus inervuje senzitivně celý povrch obličejce, dutinu ústní (tvrdé a měkké patro až po isthmus faucium, přední dvě třetiny jazyka, všechny zuby) a nosní dutinu, celý obsah orbity, většinu dura mater a část ušního boltce. Nadprahový algický podnět vyvolá podráždění nociceptorů v daném místě a vznik akčního potenciálu, který se pak šíří ascendentně nociceptivním nervovým vláknem (součást hlavového nebo míšního periferního nervu). Vzruch vstupuje do spinálního jádra n. trigeminus nebo z oblastí jinde po těle vstupuje do míchy. V míše se přepojí v zadních rozích míšních a axony neuronů zadních rohů míšních poté formují tractus spinothalamicus. Po překřížení v commissura anterior alba o 1–2 míšní segmenty výše postupují anterolaterálním systémem drah spolu s termickým čítím do talamu (nucleus ventralis posterolateralis thalami a posteriorní komplex talamu). Informace z oblasti inervace n. trigeminus jsou přepojovány v nucleus tractus spinalis nervi trigemini a poté jdou cestou tr. trigeminothalamicus a tr. trigeminoreticularis.

**Dávivý a kašlací reflex provokovaný hlubokým tracheobronchiálním odsáváním****Metodika vyšetření**

Dávivý reflex vybavíme podrážděním zadní stěny hltanu oboustranně. K podráždění užijeme špátli nebo odsávací cévku.

*Kašlací reflex:* dráždíme odsávací cévkou až v oblasti tracheální kariny. K tomuto účelu samozřejmě může posloužit i systém uzavřeného odsávacího systému napojeného přímo na ventilační okruh.

*Cave:* N. phrenicus je zodpovědný za část eferentní dráhy kašlacího reflexu. Při vysoké krční lézi může dojít k absenci tohoto reflexu z důvodu míšního poranění, nikoliv z důvodu BD/DNC.

*Pomůcka:* Dávivý reflex lze vybavit prstem zasunutým podél intubační rourky až na zadní stěnu hltanu. Současně se stimulací prstem registrujeme kontrakci svalů hltanu.

Video 6A ukazuje absence reflexů a video 6B ukazuje přítomný dávivý a kašlací reflex.

**Anatomicko-patofyziologické souvislosti**

Kašlací reflex patří mezi obranné dýchací reflexy. Napomáhá udržovat volně průchodné

dýchací cesty. Vzniká při mechanickém podráždění receptorů v oblasti hrtanu trachey. Po velkém nádechu s uzavřenou hlasivkovou štěrbinou stoupne tlak v hrudní dutině a po otevření hlasivkové štěrbinou proudí vzduch spolu s cizími tělesy ústní dutinou pryč. Podráždění mechanoreceptorů vede ke vzruchu a šíření akčního potenciálu ve vláknech n. vagus cestou n. laryngeus superior a v senzitivních vláknech n. trigeminus. V medulla oblongata se signály přepojují na motorická vlákna vedoucí z dýchacího centra kmene k míšním motoneuronům, které ovládají mezižeberní svaly a pomocí motorických vláken n. vagus se otevře hlasivková štěrbinou.

**Trvalá zástava spontánního dýchání – vyšetření apnoickým testem**

Apnoický test prokazuje absenci spontánní dechové aktivity v důsledku ztráty funkce dechového centra v prodloužené míše (Wijdicks et al., 2010; Lewis et al., 2020; Greer et al., 2020). Podmínkou provedení testu je normotermie (teplota tělesného jádra musí být  $\geq 36$  °C), stabilizovaný krevní oběh a test se provádí za monitorace krevních plynů.

**Tradiční metodika vyšetření**

1. Preoxygenace – vyšetření se zahajuje preoxygenací, tzn. pacienta ventilujeme 100% kyslíkem a PEEPem (pozitivní tlak na konci expirace) minimálně 5 cm H<sub>2</sub>O v adekvátním objemu a frekvenci po dobu 10 minut tak, aby bylo dosaženo PaO<sub>2</sub>  $\geq 200$  mmHg (26,7 kPa) a PaCO<sub>2</sub> minimálně 35–45 mmHg (4,7–5,9 kPa).
2. Pacienta odpojme od ventilátoru (rozpojením ventilačního okruhu) po dobu 8–10 minut a zajistíme mu oxygenaci endotracheální kanylou 100% kyslíkem rychlostí 6–8 l/min za monitorace saturace kyslíku v krvi. Kanylu (odsávací rourku) zavedeme do průdušnice až na úroveň bifurkace trachey.
3. Po tuto dobu pozorujeme hrudník a břišní stěnu. Pozitivní výsledek je absence dechové odpovědi sledované jako absence dechu (jakéhokoli pohybu hrudníku) při vzestupu PaCO<sub>2</sub> nad 60 mmHg (8 kPa) či vzestupu paCO<sub>2</sub> o minimálně 20 mmHg (2,7 kPa) od výchozí hodnoty.

Pokles saturace kyslíku pod 85 % trvající po dobu 30 sekund je důvodem přerušení testu. V tomto případě lze zvážit zopakování testu s použitím CPAP (kontinuální pozitivní tlak v dýchacích cestách, viz dále).

### Alternativní způsob se současným udržením přetlaku v dýchacích cestách (CPAP)

V případě závažného plicního postižení s  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$  mmHg (26,7 kPa) může dojít po odpojení ventilátoru k rychlé desaturaci následované hemodynamickou nestabilitou. Proto jsou ke zvážení doporučované alternativní metody provedení apnoického testu.

Možné alternativní postupy pro apnoický test (Hocker et al., 2014; Ahlawat et al., 2016; Levesque et al., 2006):

- po preoxygenaci odpojíme pacienta od ventilátoru, připojíme endotracheální kanylu na samorozpínací vak s PEEP ventilem a zajistíme průtok 100% kyslíku 6 l/min, nebo
- po preoxygenaci přepneme ventilátor do režimu CPAP, pacienta neodpojujeme od dýchacího okruhu (u moderních ventilátorů vzhledem k bezpečnostnímu nastavení back-up režimů v případě apnoe je toto pravděpodobně neproveditelné), nebo
- u extrémně hypoxemických pacientů po preoxygenaci redukuje minutovou ventilaci na cca 50 % s  $\text{FiO}_2$  1,0. Po dosažení požadované hodnoty  $\text{PaCO}_2$  přepneme ventilátor na 1 minutu do CPAP módu a pozorujeme absenci spontánní dechové aktivity.

V případě alternativních způsobů provedení apnoického testu se po úvaze neváháme obrátit na intenzivistu s žádostí o pomoc.

### Apnoický test u pacientů na mimotělní membránové podpoře (ECMO)

Největší problém u pacientů na ECMO je právě provedení apnoického testu. Někteří autoři (Bronchard et al., 2017; Beam et al., 2019; Bein et al., 2019) navrhují přidat do systému  $\text{CO}_2$ , abychom se vyhnuli hypoxemii. Jiní doporučují provést test následovně – postupně odpojit pacienta od ventilátoru a napojit ho na CPAP s  $\text{FiO}_2$  1,0, zvýšit  $\text{FiO}_2$  na ECMO na 1,0 a redukovat sweep gas flow tak, abychom dosáhli potřebného  $\text{PaCO}_2$ , aniž by zároveň

došlo k desaturaci. Hodnoty, kterých potřebujeme docílit, jsou stejné jako u apnoického testu u pacientů bez ECMO, tj.  $\text{PaCO}_2$  alespoň 60 mmHg (8 kPa). Dosažení této hodnoty u pacientů na ECMO podpoře může trvat déle. Po celou dobu provedení testu sledujeme absenci spontánní dechové aktivity.

Samotný apnoický test u některých pacientů může mít omezenou výpovědní hodnotu. Typickým příkladem jsou nemocní s CHOPN, kteří tolerují vysoké hodnoty  $\text{PaCO}_2$ . V minulosti se nedoporučovalo test vůbec provádět, nyní je shoda v tom, že v těchto případech je třeba dosáhnout hodnoty  $\text{PaCO}_2$  vyšší o minimálně 20 mmHg od vstupní hodnoty po preoxygenaci.

Pokud nelze apnoický test z objektivních důvodů provést, je třeba důvody uvést v Protokolu o zjištění smrti a v diagnostice BD/DNC dále pokračovat provedením PV.

### Diskuze

Pro definování přesné a jednotné metodiky provedení a interpretace klinického vyšetření BD/DNC existuje množství argumentů. Mezi nejzásadnější uvádíme následující:

- Ve většině zemí je legislativně zakotveno klinické stanovení BD/DNC. Tam jsou PV povinná, jen pokud klinická diagnostika není úplná nebo jednoznačná.
- Provedení i interpretace vyšetření reflexů musí být jednotné a přesné. Diagnóza BD/DNC je natolik delikátní záležitost, kde je zcela nepřijatelná falešná pozitivita výsledku kteréhokoliv z testů (absence reflexu u pacienta bez nevratného poškození mozku a kmene).
- Samotný proces diagnostiky BD/DNC je pro všechny zúčastněné (zdravotníky, a zvláště pak blízké) stresující situací, zvláště pak jedná-li se o dítě. Náročnost situace umocňuje fakt, že pro většinu lékařů je vyšetření BD/DNC záležitostí zřídka.
  - Neurologické i fyzikální vyšetření v obecné rovině představuje dovednost, kterou získáváme, zdokonalujeme a upevňujeme každodenním klinickým vyšetřováním pacientů.
  - Pro vzácné nebo kritické situace je třeba užít jiné způsoby. Simulační tréninky používané u resuscitací nebo logistice péče akutního iktu nejsou pro vyšetření kmenových reflexů dostatečně spolehlivé.

- Přesný popis opatřený videozáznamem znázorňující nejen provedení testu, ale i pozitivní, resp. negativní výsledek (absence, resp. přítomnost reflexní odpovědi) dává příležitost k zakotvení jednotné metodiky i interpretace vyšetření. Důležitost a hodnota názorné metodické pomůcky je tím vyšší, protože tato vyšetření provádějí i jiní lékaři než neurologové.
- Diagnostika smrti mozku u možných dárců orgánů v ČR je zákonem a provázejícími předpisy přesně definována a uvedena v článku Sivák et al. (2025) v tomto časopise.
- Zjednodušení některých testů byla provedena v zájmu lepší srozumitelnosti. To by mělo vést ke snadnějšímu a přesnějšímu provedení testů všemi vyšetřujícími. Zjednodušení není na úkor spolehlivosti. Správné provedení zjednodušeného testu má větší hodnotu než nesprávné provedení testu dokonalého.

Jednotlivé testy poskytují zcela zásadní a nevyvratitelný důkaz o nevratném poškození dané části mozku kmene. Přesto v některých případech může nastat nejistota, zda se skutečně jedná o areflexii. Vlivy, jež mohou stát za nejistotou při vyšetření, můžeme rozdělit na lokální a celkové a dále na:

- farmakologické – na JIP je u pacientů v těžkém stavu na UPV velmi častou příčinou nevybavnosti fotoreakce farmakogenní navození miózy jako vedlejšího efektu užívané léčby opiáty (Henry et Volans, 1984), přechodná mydriáza může být spojena s užitím tricyklických antidepresiv, typických antipsychotik a selektivních inhibitorů zpětného vychytávání serotoninu (Řícha et Yazbek, 2010); mydriázu rovněž vyvolávají lokální léky užívané v oftalmologii, a dále
- nefarmakologické (mydriatické zornice lze pozorovat v reakci na potenciální onemocnění – optická neuritida, ischemická neuropatie n. opticus nebo asymetrický glaukom, dále trauma, zvýšený intrakraniální tlak nebo poškození II. a/nebo III. hlavového nervu.

V roce 2022 byla popsána kazuistika pacienta, který splňoval diagnostická kritéria BD/DNC, ale měl neobvyklou reakci pomalé oboustranné elevace víček v reakci na algický

podnět (při algické stimulaci obou bradavek) (Nair-Collins, 2022). Bylo zjištěno, že pozorovaná elevace víček byla způsobena zachovanou funkcí sympatických vláken vycházejících z horního krčního ganglia umístěného na krku, která inervují m. tarsalis superior (Müllerův sval), a nikoliv zachovanou funkcí okulomotorického jádra v mesencefalu a s ním spojeného okulomotorického nervu, který inervuje sval levator palpebrae superioris.

Jak bylo výše popsáno, vstupní zobrazení mozku musí být v souladu s mechanismem a závažností poškození mozku. To znamená, že při stanovení BD/DNC musí být potvrzena závažná léze mozku. V České republice je zakotvena povinnost provádět PV v rámci následného stanovení BD/DNC. Proto musí být potvrzena ireverzibilita SM pomocí zobrazení mozkových tepen (CTA, DSA nebo transkraniální sonografie), scintigrafie nebo akustických kmenových evokovaných potenciálů. Výjimku z tohoto pravidla představuje

rozsáhlá destruktivní léze v zadní jámě, resp. mozkovém kmeni. Toto vyšetření by mělo následovat po klinickém stanovení BD/DNC, což se často neděje a zobrazení samotnému klinickému vyšetření předchází.

### Závěr

Klinické vyšetření BD/DNC je vyšetření, kde je zcela nepřijatelná falešná pozitivita výsledku jakéhokoliv z testů. Zde předkládáme jasně stanovenou metodiku provedení jednotlivých dílčích klinických vyšetření a apnoického testu. Oproti jiným zemím je v ČR stále nutné provedení potvrzovacího paraklinického vyšetření.

### Desatero klinického vyšetření

- Nejsou pochybnosti o mechanismu a nevratnosti poškození mozku, zobrazovací vyšetření musí být v souladu s mechanismem a závažností poškození mozku.
- Poškození je potvrzeno zobrazením mozku.
- Byla dostatečně dlouhá observace.

- Jsou splněny veškeré prerekvizity pro klinické vyšetření (fyzikální, farmakologické, toxické).
- Byly vyšetřeny všechny reflexy (+ u dětí do 6 týdnů sací a hledací reflex).
- Byly vyloučeny kontraindikace OCR a OVR.
- Není známá komorbidita, která by zkreslila výsledky klinického vyšetření.
- Jsou splněny všechny podmínky pro provedení apnoického testu.
- Míšní motorické odpovědi (trojflexe, Babinského příznak, fascikulace...) nevyvolávají smrt mozku.
- V případě nejasnosti ohledně daného vyšetření nebo nemožnosti jeho vyšetření provedeme pomocné vyšetření.

*Poděkování: MUDr. Miroslavu Šuldovi z Kardiochirurgického oddělení, prim. MUDr. Janu Hřídělovi z Dětského oddělení Nemocnice České Budějovice, a. s., rodinám, a blízkým pacientů za to, že nám umožnili pořídit obrazový záznam klinického vyšetření.*



videozáznamy ke stažení na [www.neurologiepropraxi.cz](http://www.neurologiepropraxi.cz)

## Legenda k videozáznamům

**Souhrnná poznámka:** Význam videozáznamu je nejen dokumentační, ale i pro samotné vyhodnocení testu. Umožňuje vyšetřujícímu se k záznamu vrátit, opakovaně si jej přehrát, zvětšit, zpomalit, vytvořit smyčku. To přispěje ke zpřesnění vyhodnocení reflexu. Užívání pomocných mechanismů zpřesní diagnostiku (vylepení horních víček a užití fyziologického roztoku při vyšetření korneálního reflexu, označení meridiánu oka při vyšetření okulocefalického či okulovestibulárního reflexu atd.). Zkratky: DK: dolní končetina/y; HK: horní končetina/y; TM kloub: temporomandibulární kloub.

**Video 1A:** Fotoreakce, absence reflexu. Pacient 1: průměr zornic 4 mm bilaterálně. Žádná změna průměru zornic přímá i nepřímá oboustranně. Pacient 2: zornice vpravo 5,5 mm, vlevo 5,0 mm. Žádná změna průměru zornic přímá ani nepřímá oboustranně. Detail na levé oko, zvětšení 3x, potvrzení areflexie.

**Video 1B:** Fotoreakce, výbavný reflex. Navození miózy po osvětlení a opět mydriáza v šeru. Fotoreakce přítomná oboustranně přímá i nepřímá. Zpomalení a zvětšení umožňují spolehlivěji zhodnotit změnu velikosti zornic.

**Video 2A:** Korneální reflex, absence reflexu. Absence bytí náznaku mrknutí. Stimulace smotkem gázy (Pacient 1), sterilní štětičkou (Pacient 2 a 3) a sterilním fyziologickým roztokem (Pacient 4). Pasivní otevření oka musí být velmi lehké, aby nebyla překryta ani diskretní odpověď. Vylepení víček usnadní detekci i diskretní odpovědi, eliminuje sporné nálezy. Zpomalený záběr. Vyšetřujeme ze strany, nikoliv cestou přímého pohledu, dráždíme rohovku, nikoliv spojivkový vak, dotek musí vyvolat deformaci rohovky.

**Video 2B:** Korneální reflex, výbavný reflex. Dráždění rohovky sterilní štětičkou (Pacient 1 a 2) a sterilním fyziologickým roztokem (Pacient 3 a 4), vždy mimo zorné pole. Všímáme si jakékoliv kontrakce m. orbicularis oculi oboustranně. U Pacienta 2 a 4 záběr zpomalen a odpověď označena šipkou (i velmi diskretní kontrakce víčka znamená zachovaný reflex).

**Video 3A:** Okulocefalický reflex, absence reflexu. Po prudkém otočení hlavou v horizontální rovině se stočí oční bulby souhlasně ve směru i úhlu rotace hlavy. Označení meridiánu oka na oční víčka (Pacient 2 – znázorněno červenými šipkami) umožní vyhnout se falešnému hodnocení, je-li výbavnost reflexu sporná nebo nejistá.

**Video 3B:** Okulocefalický reflex, výbavný reflex. Při otočení hlavou v horizontálním směru se bulby stočí opačným směrem (fixace obrazu na sítnici). Označení meridiánu oka umožňuje přesně rozhodnout, zda k reflexnímu pohybu bulbu skutečně došlo, nebo je pohyb pouze zdánlivý vlivem posunu víčka vůči bulbu.

**Video 4A:** Okulovestibulární reflex, absence reflexu. Pacient má hlavu v anteflexi 30°, stříkačkou pomalu aplikujeme vodu 0 °C do zevního zvukovodu (ledová tříšť v misce). Aplikace probíhá nejméně 1 minutu. Není patrný žádný pohyb bulbů, ani nystagmus. Kontralaterální stimulaci je možno provést nejdříve za 5 minut.

**Video 4B:** Okulovestibulární reflex, výbavný reflex. Pacient má hlavu v anteflexi 30°, stříkačkou pomalu aplikujeme vodu 0 °C do zevního zvukovodu (ledová tříšť v misce). Aplikace probíhá nejméně 1 minutu. Pro přesné hodnocení označen meridián oka. Konjugovaná deviace bulbů nepřítomná. Vybaven pouze kontralaterálně bíjící horizontálně rotační nystagmus. Manifestace nystagmu až po ukončení proplachu zvukovodu.

**Video 5A:** Kašlací reflex, absence reflexu. Pacient s orotracheální kanylou, využit uzavřený odsávací systém, odsávací cévku nutno zavést co nejhlouběji (dosažení minimálně tracheální cariny). Absence kašle, dávení či nebo kontrakce v úrovni hrudníku a ramen – (pomocné dýchací svaly).

**Video 5B:** Kašlací reflex, výbavný reflex. Pacient s tracheostomickou kanylou – po zavedení odsávací cévky reakce (kašel, kontrakce v etáži hrudníku a ramen).

**Video 6A:** Reakce na algický podnět, absence reflexu. Stimulace TM kloubu, orbity, nosní sliznice pomocí sterilní štětičky, oblasti sternu, eponychia HK a DK. Absence jakékoliv reakce v kraniální etáži (oblast inervace hlavových nervů – pohyb očima, grimasa, pohyb hlavou atd.). Při stimulaci ve spinální etáži lze akceptovat reakci pouze ve spinální etáži (pohyb končetinou, trojflexe atd.).

**Video 6B:** Reakce na algický podnět, výbavný reflex. Stimulace TM kloubu, orbity, nosní sliznice sterilní štětičkou (diskrétní kontrakce m. orbicularis oculi u v pořadí druhého pacienta), oblasti sternu, eponychia HK a DK. Nezbytná přítomnost reakce v kraniální etáži (oblast inervace hlavových nervů – pohyb očima, grimasa, pohyb hlavou atd.).

## LITERATURA

- Ahlawat A, Carandang R, Heard SO, et al. The Modified Apnea Test During Brain Death Determination: An Alternative in Patients With Hypoxia. *J Intensive Care Med.* 2016;31:66-9.
- Beam WB, Scott PD, Wijidicks EFM. The Physiology of the Apnea Test for Brain Death Determination in ECMO: Arguments for Blending Carbon Dioxide. *Neurocrit Care.* 2019;31:567-72.
- Bein T, Muller T, Citerio G. Determination of brain death under extracorporeal life support. *Intensive Care Med.* 2019;45:364-66.
- Braksick SA, Robinson CP, Gronseth GS, et al. Variability in reported physician practices for brain death determination. *Neurology.* 2019;92:e888-e94.
- Bronchard R, Durand L, Legeai C, et al. Brain-Dead Donors on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Crit Care Med.* 2017;45:1734-41.
- Greer DM, Kirschen MP, Lewis A, et al. Pediatric and Adult Brain Death/Death by Neurologic Criteria Consensus Guideline. *Neurology.* 2023;101:1112-32.
- Greer DM, Shemie SD, Lewis A, et al. Determination of Brain Death/Death by Neurologic Criteria: The World Brain Death Project. *JAMA.* 2020;324:1078-97.
- Henry J, Volans G. ABC of poisoning. Analgesics: opioids. *Br Med J (Clin Res Ed).* 1984;289:990-3.
- Hocker S, Whalen F, Wijidicks EF. Apnea testing for brain death in severe acute respiratory distress syndrome: a possible solution. *Neurocrit Care.* 2014;20:298-300.
- Jain S, DeGeorgia M. Brain death-associated reflexes and automatisms. *Neurocrit Care.* 2005;3:122-6.
- Khandelwal A, Mishra RK, Singh S, et al. Dilated Pupil as a Diagnostic Component of Brain Death-Does it Really Matter? *J Neurosurg Anesthesiol.* 2019;31:356.
- Levesque S, Lessard MR, Nicole PC, et al. Efficacy of a T-piece system and a continuous positive airway pressure system for apnea testing in the diagnosis of brain death. *Crit Care Med.* 2006;34:2213-6.
- Lewis A, Bakkar A, Kreiger-Benson E, et al. Determination of death by neurologic criteria around the world. *Neurology.* 2020;95:e299-e309.
- Maciel CB, Youn TS, Barden MM, et al. Corneal Reflex Testing in the Evaluation of a Comatose Patient: An Ode to Precise Semiology and Examination Skills. *Neurocrit Care.* 2020;33:399-404.
- Nair-Collins M. Spinal reflexes and brain death. *Clin Neurophysiol Pract.* 2022;7:143-45.
- Nakagawa TA, Ashwal S, Mathur M, et al. Clinical report-Guidelines for the determination of brain death in infants and children: an update of the 1987 task force recommendations. *Pediatrics.* 2011;128:e720-40.
- Neavyn MJ, Stolbach A, Greer DM, et al. ACMT Position Statement: Determining Brain Death in Adults After Drug Overdose. *J Med Toxicol.* 2017;13:271-73.
- Ostrý S, Holečková I, Sivák Š, et al. Elektrofyziologická vyšetření potvrzující smrt mozku. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):117:121.
- Richa S, Yazbek JC. Ocular adverse effects of common psychotropic agents: a review. *CNS Drugs.* 2010;24:501-26.
- Sagishima K, Kinoshita Y. Pupil diameter for confirmation of brain death in adult organ donors in Japan. *Acute Med Surg.* 2017;4:19-24.
- Sapostnik G, Maurino J, Saizar R, et al. Spontaneous and reflex movements in 107 patients with brain death. *Am J Med.* 2005;118:311-4.
- Shemie SD, Doig C, Dickens B, et al. Severe brain injury to neurological determination of death: Canadian forum recommendations. *CMAJ.* 2006;174:S1-13.
- Sivák Š, Ostrý S, Pokorná E, et al. Diagnostika smrti mozku v České a Slovenské republice a její předpoklady. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):103-108.
- Smith AM, Czyz CN. 2024. 'Neuroanatomy, Cranial Nerve 2 (Optic).' in, StatPearls (Treasure Island (FL)).
- Wijidicks EF, Varelas PN, Gronseth GS, et al. Evidence-based guideline update: determining brain death in adults: report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2010;74:1911-8.
- Wijidicks EFM. How I do a brain death examination: the tools of the trade. *Crit Care.* 2020;24:648.

# Elektrofyzilogická vyšetření potvrzující smrt mozku

doc. MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.<sup>1,2</sup>, doc. MUDr. Irena Holečková, Ph.D.<sup>3</sup>, prof. MUDr. Štefan Sivák, Ph.D.<sup>4</sup>,  
prof. MUDr. Egon Kurča, PhD., FESO<sup>4</sup>, doc. MUDr. Vladimír Nosál, PhD., FESO<sup>4</sup>,  
prof. MUDr. Ivana Štětkářová, CSc., MHA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Neurologické oddělení Nemocnice České Budějovice, a. s., České Budějovice

<sup>2</sup>Neurochirurgická a neuroonkologická klinika 1. lékařská fakulta Univerzita Karlova v Praze  
a Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha

<sup>3</sup>Neurochirurgická klinika FN a LF UK v Plzni

<sup>4</sup>Neurologická klinika JLF UK a UNM, Univerzitná nemocnica Martin, Slovenská republika

<sup>5</sup>Neurologická klinika 3. LF UK a FNKV, Praha

Povinnost i podmínky potvrzujících vyšetření smrti mozku jsou dány legislativou příslušné země. Potvrzující vyšetření nepřipouští eventualitu falešné pozitivitu (potvrzení smrti u žijícího jedince). Je žádoucí, aby metodika vyšetření i hodnocení byla jasná, přesná a jednotná. Metodika sluchových evokovaných odpovědí (BAEP) vychází z oficiálních mezinárodních doporučení a je přizpůsobena pro podmínky jednotek intenzivní péče. Vyšetření BAEP před rozvojem kraniokaudální deteriorace nebo rozšíření o somatosenzorické evokované odpovědi n. medianus zvyšují spolehlivost (senzitivitu) potvrzujícího vyšetření provedeného po splnění všech klinických podmínek diagnózy smrti mozku dle neurologických kritérií „brain death / death by neurological criteria“.

**Klíčová slova:** smrt mozku, potvrzující vyšetření, evokované potenciály, kmenové sluchové evokované potenciály, somatosenzorické evokované potenciály.

## Ancillary electrophysiological examination in determination of brain death

The obligation and conditions of confirmatory brain death examinations are determined by the legislation of the respective country. Ancillary examinations do not allow for the possibility of a false positive (confirmation of death in a living individual). It is desirable that the methodology of examination and evaluation is clear, precise and uniform. The methodology of auditory evoked responses (BAEP) is based on official international recommendations and is adapted to intensive care unit (ICU) conditions. BAEP examination before the development of craniocaudal deterioration or augmentation with median nerve somatosensory evoked responses (SEP) increases the reliability (sensitivity) of ancillary testing performed after all clinical conditions for a diagnosis of brain death according to neurological criteria (BD/DNC) have been met.

**Key words:** brain death, ancillary examination, evoked potentials, brainstem evoked potentials, somatosensory evoked potentials.

## Úvod

Diagnóza smrti mozku dle neurologických kritérií „brain death / death by neurological criteria“ (BD/DNC) je ve většině zemí světa pouze klinická. Hollý et al. poprvé v českém

písemnictví názorně popisují metodiku provedení i hodnocení klinického vyšetření (Hollý et al., 2025).

V ČR, částečně i v SR, klinické stanovení diagnózy vyžaduje potvrzení některým z po-

## DECLARATIONS:

### Declaration of originality:

The manuscript is original and has not been published or submitted elsewhere.

### Ethical principles compliance:

The authors attest that their study was approved by the local Ethical Committee and is in compliance with human studies and animal welfare regulations of the authors' institutions as well as with the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects adopted by the 18<sup>th</sup> WMA General Assembly in Helsinki, Finland, in June 1964, with subsequent amendments, as well as with the ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, updated in December 2018, including patient consent where appropriate.

### Conflict of interest:

Not applicable.

### Consent for publication:

Not applicable.

Cit. zkr: *Neurol. praxi.* 2025;26(2):117-121

<https://doi.org/10.36290/neu.2024.082>

Článek přijat redakcí: 10. 9. 2024

Článek přijat k publikaci: 25. 11. 2024

doc. MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.

[ostry.svatopluk@nemcb.cz](mailto:ostry.svatopluk@nemcb.cz)

mocných vyšetření. Pravidla pro provedení potvrzujícího vyšetření (PV) po stanovení klinické diagnózy smrti mozku (SM) jsou zakotvena legislativně. Legislativní normy v ČR a v SR se navzájem liší (Sivák et al., 2025).

## Potvrzující morfologická a funkční vyšetření v ČR

Klinicky stanovená diagnóza smrti mozku vyžaduje potvrzující instrumentální vyšetření, kromě situace, kdy je graficky prokázána rozsáhlá destruktivní léze v zadní jámě lebni. U jedinců mladších jednoho roku je potvrzující vyšetření vyžadováno vždy (Zákon č. 285/2002 Sb, 2002).

Každé z potvrzujících vyšetření má stanovenou standardizovanou metodiku provedení pro účely potvrzení klinické diagnózy SM, resp. metodika provedení potvrzujících vyšetření je podrobně popsána v dokumentech vydaných v diki příslušných odborných společností ČLS JEP, případně jejich sekcí (Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, 2016; Tomek et al., 2016; Česká společnost intervenční radiologie, 2019; Heřman, 2020). Metodika kmenových sluchových evokovaných potenciálů (BAEP) pro účely potvrzení diagnózy BD/DNC doposud stanovená nebyla.

## Potvrzující morfologická a funkční vyšetření v SR

Potvrzující testy se při stanovování mozkové smrti provádějí doplňkově v případě nejednoznačného klinického vyšetření nebo v případě nemožnosti vyloučit přítomnost kontraindikací. Výjimkou jsou děti do jednoho roku života, kdy se povinně provádí jeden z konfirmačních testů.

V případě indikace se klinická diagnóza mozkové smrti potvrdí jedním z potvrzujících testů: průkazem zástavy mozkové cirkulace (jednorázově provedenou sériografickou cerebrální panangiografií nebo mozkovou perfuzní scintigrafií nebo elektroencefalografií (EEG) nebo vyšetřením BAEP (dle čl. VII, odborného usměrnění MZ 28610/2006) (Vestník ministerstva zdravotnictva Slovenskej republiky, 2007).

V praxi se jako potvrzující vyšetření standardně používá vyšetření cerebrální panangiografií (Bratislava, Banská Bystrica, Martin, Košice) a mozkovou perfuzní scintigrafií (Martin). Elektrofyziologické metody se používají jen raritně.

Předmětem práce je stanovit metodiku provedení a hodnocení kmenových sluchových evokovaných potenciálů (BAEP) jako potvrzujícího vyšetření při stanovení smrti mozku.

## Sluchové evokované odpovědi

BAEP (brainstem evoked potential) jsou tvořeny pěti konstantními vrcholy (vlna I–V) a nekonstantními vrcholy VI a VII (případně VIII) (Pratt et al., 1999).

Jistota v anatomické lokalizaci generátoru vlny klesá s rostoucím pořadím vlny. Má se za to, že generátorů zvláště vln III–V může být i více.

Vlna I je odpovědí kochley a odpovídá N1 vlně kochleogramu. Může být také generována distální intrameatální porcí sluchového nervu. Vlna II je generována proximálním segmentem axonů kochleárního nervu mezi vstupem do kmene a vstupem do kochleárních jader. Generátorů vlny III je pravděpodobně více a nacházejí se v úrovni dolního pontu, v místě prostupu dráhy corpus trapezoideum a horní olivou.

Vlny IV a V jsou generovány v úrovni horního pontu a mesencefala, v průběhu lemniscus lateralis. Tento komplex mohou tvořit dva separátní vrcholy nebo může splývat v jednu pozitivní vlnu. Vlny VI a VII jsou pravděpodobně generovány v colliculus inferior, nemají klinické využití (Urgošík, 1993; Pratt et al., 1999; Møller, 2011).

## Specifika BAEP vyšetření na jednotkách intenzivní péče

Vyšetření BAEP pro účely potvrzení BD/DNC probíhá obvykle na jednotkách intenzivní péče – JIP, ARO, RES – souhrnně zde označeno ICU (intensive care unit). Intenzita rušivého elektrického šumu okolí je v prostředí ICU blízka operačnímu sálu. Množství přístrojového vybavení a absence stínění jsou hlavními příčinami elektrického rušení. Pacient je řízeně ventilován, má invazivní vstupy nebo operační ránu.

BAEP jsou ideální volbou u stavů po dekompresivní kraniektomii nebo ztrátovém poranění hlavy, kde vaskulárně-perfuzní vyšetření jsou obvykle neprůkazná.

U pacientů v kritickém stavu je předpoklad vyšetření BAEP opakovat, respektive

sledovat vývoj odpovědí v čase. Výběr, umístění, způsob fixace elektrod, vedení kabelů, umístění stimulatorů, předzesilovačů i samotného neurofyziologického přístroje je potřeba předem dobře rozmyslet a instalaci provést tak, aby co nejméně interferovala s probíhající intenzivní péčí. Aktivní a konstruktivně vedená komunikace mezi neurofyziologem, intenzivistou a ošetrovatelským personálem s hledáním společné optimální cesty řešení je zásadní podmínkou úspěchu. Můžeme ji připodobnit k nutnosti vzájemné souhry neurofyziologa, neurochirurga a anesteziologa během operačních zákroků s intraoperační neurofyziologickou monitorací.

## Prerekvizity vyšetření

Hlavní podmínkou vybavitelnosti evokované odpovědi obecně je funkční integrita senzoryckých receptorů a zachovaná vodivost periferním úsekem sluchové dráhy.

Než přistoupíme k vyšetření BAEP, je nutné ověřit absenci premorbidní těžké poruchy sluchu, poškození kochley a nervu, a to traumatické (fraktura pyramidy, hematom ve středouši), ischemické (ischemie kochley při globální anoxii, zástavou průtoku a cerebelli anterior inferior (AICA) při nitrolební hypertenzi) nebo farmakologické etiologie (ototoxická medikace).

Hypotermie a lipofilní anestetika zpomalují subkortikální rychlost vedení vzruchu a prodlužují tak latence odpovědí. Ačkoliv BAEP patří k nejodolnějším z evokovaných odpovědí (mizí až při tělesné teplotě 21 °C), není možné tyto vlivy přehlédnout.

## Stimulace

Ke stimulaci se používají náušní sluchátka (naložená přes ušní boltce), vsuvná sluchátka „pecky“ (zavedená do zevních zvukovodů) nebo externí generátor, z něhož je zvuk přenášen 30 cm dlouhou silikonovou hadičkou, která je v zevním zvukovodu fixována pěnovkou.

Pro vyšetření BAEP v prostředí ICU jsou vhodná vsuvná sluchátka nebo externí generátory. Hlavní výhodou jsou malé rozměry, možnost fixace ve zvukovodu (důležité pro dlouhodobou monitoraci) a snazší udržení čistoty. Náušní sluchátka v prostředí ICU jsou nevhodná. Použití externích generátorů navíc snižuje velikost stimulus artefaktu.

Stimulace je monoaurální, nefiltrovaným „klikem“ generovaným, elektrickým monofázickým pravouhlejším pulzem o trvání 100  $\mu$ s. Rarefakce je preferována před kondenzační polaritou kliku. Intenzita stimulace je 100 dB, frekvence 10–50 Hz (s eliminací harmonických násobků frekvencí elektrické sítě).

Kontralaterální ucho je maskováno bílým šumem. Maskovací šum intenzity o 40 dB nižší, než je intenzita stimulace, slouží k „odhlučnění“ nestimulovaného ucha od kontralaterální stimulace vzdušným i kostním vedením. Intenzita šumu 60 dB neaktivuje neurální struktury vnitřního ucha (Pratt et al., 1999; ACNS, 2006).

Obvyklá frekvence stimulace pro vyšetření v laboratoři je kolem 10–20 Hz. Na ICU jsou optimální frekvence kolem 30 Hz, intraoperačně i přes 40 Hz. Důležité je vyhnout se násobkům síťové frekvence 50 Hz (event. 60 Hz) (Møller, 2011).

## Registrace

Odpovědi jsou snímány povrchovými nebo subdermálními (jehlové, spirálové) elektrodami. Výhodou subdermálních elektrod je snazší a spolehlivější fixace a nižší přechodový odpor. Obojí je zvláště významné při sériovém snímání.

Registrační zapojení Cz–A1, Cz–A2 (aktivní elektroda na skalpu) vychází z laboratorních zvyklostí. Pokud vztáhneme označení svodů ke straně stimulace: Cz–Ai (ipsilaterální), Cz–Ac (kontralaterální), pak výše uvedené zapojení odpovídá stimulaci vlevo. Při stimulaci vpravo bude umístění elektrod opačné.

Směr vektoru dipólu vln I–V se mění od přibližně horizontálního do vertikálního. Vlna I bude mít nejvyšší amplitudu ve svodu Ac–Ai a nejnižší ve svodu Cz–Ac. Pro lepší diferenciaci vlny V se doporučuje zvolit svod Cz–Cv5.

Časovou základnu je doporučeno nastavit na 2 ms/div (celkový analyzační čas 20 ms), aby nemohly být přehlédnuty opožděné kmenové odpovědi. Citlivost záznamu je 0,5–1,0  $\mu$ V/div.

Standardní pásmová propust je v rozmezí 100–3 000 Hz. Tu je možno dodatečně shora snížit až na 1 000 Hz, není-li jiným způsobem odstranitelná rušivá interference šumu okolního prostředí.

Aby byl průkaz konzistence, je třeba pro každou stranu pořídít nejméně dva zprůměrněné záznamy. Pro každý záznam musí být zprůměrněno, musí být nejméně 2 000 přeběhů.

Metodika BAEP uvedena souhrnně (viz box 1).

### Box 1: Metodika BAEP souhrnně

#### Prerekvizita:

Premorbidní porucha sluchu, fraktura pyramidy, abnormální náplň středouší.

#### Stimulační parametry:

Stimulace: monoaurálně vpravo a vlevo (ne binaurální)  
Podnět: klik 100  $\mu$ s  
Polarita: rarefakční nebo kondenzační (ne alternující)  
Intenzita: 100 dB  
Frekvence stimulace: 10–50 Hz  
Maskovací bílý šum 60 dB kontralaterálně

#### Registrační parametry:

Elektrody: povrchové nebo subdermální (přechodový odpor < 5 k $\Omega$ )  
Svody: Cz–Ai, Cz–Ac (Ac–Ai, Cz–Cv5)  
Pásmová propust zesilovače: 100–3 000 Hz  
Časová základna: 2 ms/div (celkem 20 ms)  
Citlivost/zesílení: 0,5–1,0  $\mu$ V/div  
Zprůměrnění: nejméně 2 000 přeběhů  
Záznamy: nejméně 2 z každého ucha

Kritéria hodnocení – potvrzení BD/DNC:

■ Musí být splněna obě současně

■ oboustranná výbavnost vlny I

■ nevybavnost všech pozdějších odpovědí (vlny II–V)

## Hodnocení odpovědi – potvrzení smrti mozku

Potvrzujícím vyšetřením se BAEP stanou až po klinickém stanovení mozkové smrti. Potvrzení spočívá v průkazu úplné ztráty centrální (kmenové) vodivosti a současně neporušeném vedení periferním.

Obraz potvrzující SM je definován přítomností vlny I a nevybavností všech pozdějších odpovědí (vlny III–V).

Pokud dojde k vyhasnutí všech odpovědí, včetně vlny I, pak SM potvrdit nelze.

Absence všech odpovědí, včetně periferních, může být průkazná pouze za podmínky, není-li přítomná fraktura pyramidy ani abnormální náplň středouší, a současně máme průkaz funkční integrity periferního úseku sluchové dráhy z dřívějšího vyšetření (jednorázového nebo sériového) (Obr. 1).

## Somatosenzorické evokované potenciály

Somatosenzorické evokované potenciály (SEP) n. medianus vyšetřují integritu dráhy zadních provazců. Při BD/DNC je aktivita komponent periferních (N9) a míšních (N13) zachována. Naopak komponenty generované z oblasti intrakraniální – intracerebrální, tzn. vrcholy subkortikální P14, N18 a vrcholy kortikální N20, P25, jsou vymizelé. Při BD/DNC by mělo být prováděno vyšetření i v zapojení s extrace-

falickou referencí, a tudíž s možností registrace komponent vzdáleného pole P14/N18 generovaných z oblasti mozkového kmene, v úrovni cerviko-medulární junkce, resp. v oblasti lemniscus medialis a nucleus cuneatus. Často užívané zapojení pouze s cefalickou referencí nepodává informace o subkortikální aktivitě komponent vzdáleného pole, ale pouze o aktivitě primárního somatosenzorického kortexu, podávající tedy podobné informace jako EEG, což pro diagnózu BD/DNC s klinickým požadavkem kmenové areflexie není dostatečné. Zapojení s extracefalickou referencí informuje o aktivitě kaudálních částí mozkového kmene. Kombinované použití SEP a BAEP pak mapuje aktivitu od oblasti cerviko-medulární junkce až po oblast pons-mesencephalon.

Kombinace SEP n. medianus a BAEP umožňují potvrdit BD/DNC v 93–100 % (Facco et al., 2002; Holečková et al., 2014).

## Stimulace a registrace

Parametry stimulace i registrace SEP n. medianus odpovídají standardům doporučených Mezinárodní společností pro klinickou neurofyzilogii (Cruccu et al., 2008). Vrchol N9 je registrován v zapojení: Ei–Ec (Erbův bod ipsilaterálně – Erbův bod kontralaterálně); vrchol N13 v zapojení: C6 – sternum/jugulum; vrchol P14, N18 v zapojení: Fz – kontralaterální rameno/Ei a vrchol N20 v zapojení: C3'/C4' – Fz.

## Diskuze

Při diagnostice BD/DNC obecně je zvýšený tlak na spolehlivost veškerých prováděných morfologických i funkčních testů. Je zcela nepřijatelná falešná pozitivita, tzn. potvrzení SM u jedince, u něhož smrt ještě nenastala. Potvrzující vyšetření se provádí až po klinickém stanovení BD/DNC.

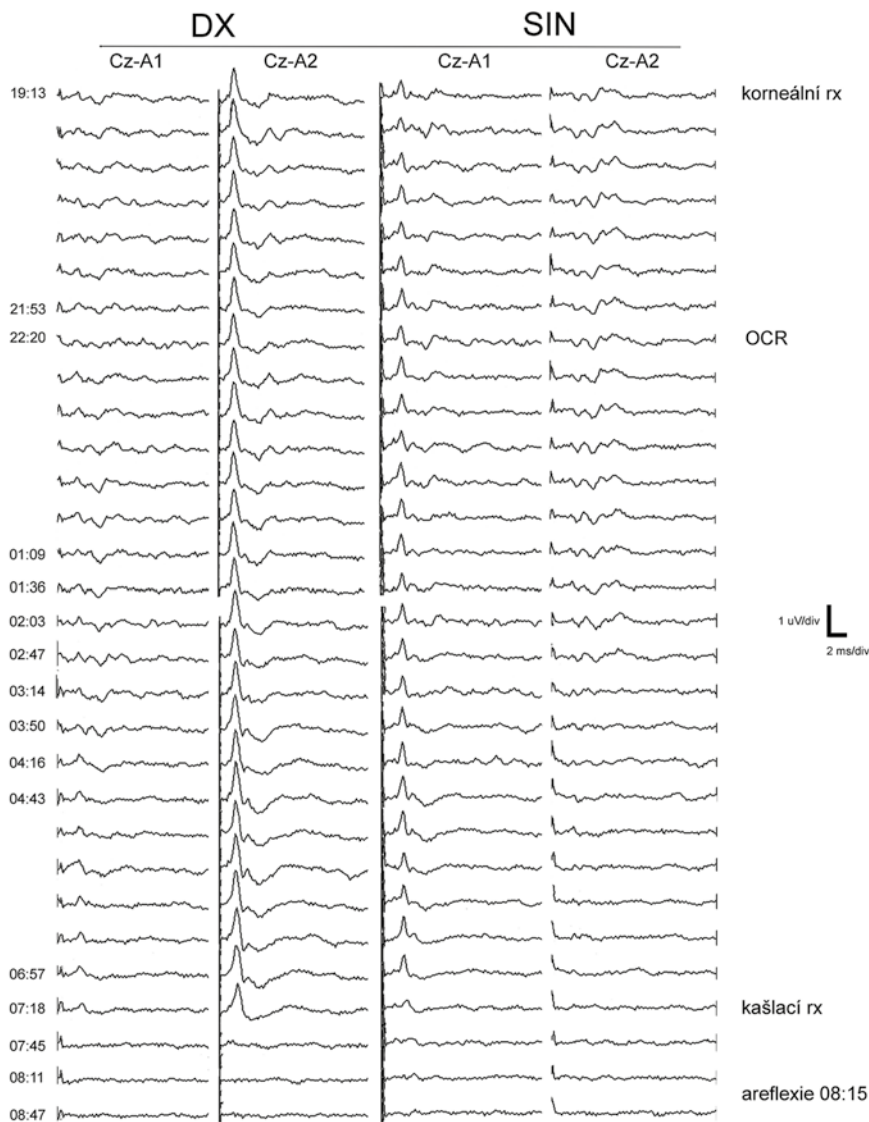
## Stimulace – lateralita, polarita

Simulace má být monoaurální vpravo a vlevo (nikoliv binaurální), polarita rarefakční nebo kondenzační (nikoliv alternující).

Binaurální stimulace nepřináší další benefit, spíše naopak. Nestejná latence vstupu vzruchu do kmene vede k vzájemné interferenci a falešnému snížení/vymizení centrálních kmenových odpovědí.

Při rarefakci dochází k depolarizaci vláskových buněk dříve než při kondenzaci.

**Obr. 1.** Monitorace BAEP při kraniokaudální deterioraci. Subarachnoidální krvácení z aneurysmatu *a. communicans anterior*, Hunt-Hess skóre 5. První BAEP pořízen, když byl ještě výbavný korneální reflex. Sériový záznam BAEP ukazuje postupné vyhasínání evokovaných odpovědí provázené kraniokaudální ztrátou kmenových reflexů. Potvrzení BD/DNC až po naplnění klinických podmínek (kmenová areflexie) pouze díky dřívějšímu průkazu výbavnosti periferní odpovědi



Důvodem je iniciální výchylka bazilární membrány kochley. Alternující polarita stimulu, kromě potlačení stimulus artefaktu a kochleární mikrofonie, vede k vzájemné interferenci odpovědí „phase cancellation“.

Zvýšení frekvence stimulace způsobuje snížení amplitudy a mírné prodloužení latence odpovědi.

### Registrace

Jedním z hlavních úskalí snímání je rušení šumem okolního prostředí. U pacientů na ICU velmi rušivě působí neklid, svalový třes nebo pouze svalové chvění „shivering“. Po dobu vyšetření interferenci svalové aktivity dokonale eliminuje podání myorelaxace.

### Potvrzení BD/DNC

Potvrzení pomocí BAEP má řadu nesporných výhod proti ostatním potvrzujícím vyšetřením. Provedení je technicky velmi snadné. Ztrátu centrální neuronální funkce/axonální vodivosti prokazují BAEP přímo, kdežto všechny ostatní metody podávají důkaz absence neuronální a axonální funkce nepřímý, na základě průkazu zástavy cirkulace.

BAEP spolu s TCD se provádí bedside, nevyžadují transport pacienta ani aplikaci kontrastní látky, šetří čas a nezatěžují funkci orgánů určených k transplantaci. BAEP jako jediné umožňují sériové snímání.

Potvrzující vyšetření BD/DNC musí následovat až po stanovení diagnózy klinické. Není

výjimkou, když prodleva mezi rozvojem úplné kmenové areflexie a potvrzujícím vyšetřením dosahuje i mnoha hodin. Za těchto okolností je často (64–70 %) vyhláší vlna I. Flat response sice nezpochybňuje diagnózu BD/DNC, avšak nemůže ji ani potvrdit.

U postanoxického kómatu, kde se nejedná o BD/DNC, dochází k úplné absenci BAEP na podkladě ischemie kochley v 18 % (Holečková et al., 2014). Potvrzujícího závěru BD/DNC se tak u BAEP dosahuje nejvýše v 25 % (Koenig et Kaplan, 2019).

Za diagnostickými pochybnostmi a dramatickým poklesem senzitivity a specifity BAEP stojí především neznalost problematiky. Existuje však několik nenáročných způsobů, jak výpovědní hodnotu BAEP zásadním způsobem zvýšit:

- Provést *jednorázové* BAEP dříve (ve fázi před rozvojem nitrolební hypertenze), jakmile z klinického kontextu můžeme usuzovat na nepříznivý klinický vývoj.
- Monitorovat vývoj kmenové vodivosti *sériovým záznamem* BAEP s vhodnou časovou periodou. To umožní zachytit moment kmenové areflexie, kdy je stále výbavná vlna I. Oba způsoby umožňují potvrdit BD/DNC, i když jsou po splnění všech klinických podmínek BD/DNC všechny BAEP vyhláší „flat-response“ (Obr. 1).
- Stanovit funkční integritu jiné senzoricke dráhy (add-on) procházející mozkovým kmenem – ideálně SEP n. medianus, u níž funkční integrita periferního segmentu dráhy není zatížena nepříznivým vývojem intrakraniální perfuze a současně intrakraniální subkortikální komponenty, nejsou tak citlivé ke globálním fyzikálním, farmakologickým i hypoxickým vlivům (Štětkářová, 2007; Holečková et al., 2014).

SEP n. medianus, na rozdíl od BAEP, podávají informaci o funkční integritě nejen kmenové, ale i supratentoriální. Legislativní norma ČR paradoxně použití SEP n. medianus pro potvrzení BD/DNC neuvádí. Ačkoliv by SEP umožnily dodržet koncept smrti celého mozku (whole-brain death), není možné pro účely dárcovského programu SEP jako potvrzující vyšetření použít. Zde je vyžadováno potvrzení BD/DNC jiným vyšetřením.

## Závěr

Potvrzující vyšetření BD/DNC vyžaduje pevnou a jednotnou metodiku. Práce stanovuje jak metodiku vyšetření, tak i kritéria hodnocení BAEP, jako potvrzujícího vyšetření SM.

## LITERATURA

1. Angiografie mozkových tepen pro stanovení smrti mozku – metodický pokyn 2019. [online] [cit. 29.7.2024]. Available from: <https://www.csir.cz/dokumenty#postupy>.
2. Cruccu G, Aminoff MJ, Curio G, et al. Recommendations for the clinical use of somatosensory-evoked potentials. *Clin Neurophysiol.* 2008;119(8):1705-1719.
3. Facco E, Munari M, Gallo F, et al. Role of short latency evoked potentials in the diagnosis of brain death. *Clin Neurophysiol.* 2002;113(11):1855-1866. doi: 10.1016/s1388-2457(02)00259-6.
4. Guideline 9C: Guidelines on short-latency auditory evoked potentials. *J Clin Neurophysiol.* 2006;23(2): 157-167. doi: 10.1097/00004691-200604000-00012.
5. Heřman M. CT angiografie tepen zásobujících mozek pro stanovení smrti mozku u dárců orgánů. *Ces Radiol.* 2020;74(4):235-237.
6. Holečková I, Valeš J, Veselá P, et al. Kombinace sluchových a somatosenzorických evokovaných potenciálů zvy-

šuje senzitivitu průkaz smrti mozku. *Cesk Slov Neurol N.* 2014;77/110(6):698-703.

7. Holý P, Kunáš Z, Pokorná E, et al. Klinické stanovení smrti mozku – metodika neurologického vyšetření a apnoického testu. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):109-116.

Zvýšení senzitivity BAEP lze dosáhnout buď vyšetřením opakovaným nebo sériovým

8. Koenig MA, Kaplan PW. *Handb Clin Neurol.* Elsevier. 2019;161: 89-102.
9. Møller AR. *Intraoperative Neurophysiological Monitoring.* New York, NY, Springer New York. 2011:123-161.
10. Pratt H, Aminoff M, Nuwer MR, Starr A. Short-latency auditory evoked potentials. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl.* 1999;52:69-77.
11. Sívák Š, Ostrý S, Pokorná E, et al. Podmínky stanovení smrti mozku v České a Slovenské republice. *Neurol. praxi.* 2025;26(2):103-108.
12. Štětkařová I. Evokované potenciály v intenzivní péči. *Neurol. praxi.* 2007;(1): 24-26.

snímáním nebo rozšířením o další modalitu – SEP n. medianus.

Příspěvek multimodálních EP je natolik významný, že zasluhuje pozornost pro legislativní zakotvení jako potvrzující vyšetření SM.

13. Tomek A, Školoudík D, Škoda O, et al. Metodika stanovení smrti mozku pomocí transkraniální sonografie vypracovaná Neurosonologickou komisí a Cerebrovaskulární sekci České neurologické společnosti ČLS JEP. *Cesk Slov Neurol N.* 2016;79/112(5): 608-611.
14. Urgošik D. Evokované odpovědi a jejich klinické využití. Praha, Praha Publishing. 1993:269-335.
15. Vestník ministerstva zdravotnictví Slovenskej republiky, ročník 55, částka 1-5, 2007. [Internet] [cit. 29. 7. 2024]. Available from: [https://www.health.gov.sk/Zdroje/Sources/dokumenty/vestniky\\_mz\\_sr/2007/vestnik0701.pdf](https://www.health.gov.sk/Zdroje/Sources/dokumenty/vestniky_mz_sr/2007/vestnik0701.pdf).
16. Věstník ministerstva zdravotnictví České republiky, částka 2/2016, 2016. [online] [cit. 29. 7. 2024]. Available from: <https://mzd.gov.cz/vestnik/vestnik-c-2-2016/>.
17. Zákon o darování, odběrech a transplantacích tkání a orgánů a o změně některých zákonů (transplantační zákon). Zákon č. 285/2002 Sb, 2002. [Internet] [cit. 29. 7. 2024]. Available from: <https://www.zakonyprolidí.cz/cs/2002-285>.



## Plánované akce pro neurologii v roce 2025



29.–30. 1.  
1 Plzeň



15.–16. 5.  
2 Praha



5.–6. 6.  
3 Brno



18.–19. 9.  
4 Ústí nad Labem



2.–3. 10.  
5 Třešňovice



17.–18. 10.  
6 Líšeň

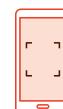


23.–24. 10.  
7 Plzeň



7.–8. 11.  
8 Karolinka

Více informací na [www.kongresneurologie.cz](http://www.kongresneurologie.cz)



# Diagnóza smrti mozgu a úloha zobrazovacích metód

MUDr. Martin Vorčák, Ph.D.<sup>1</sup>, MUDr. Hubert Poláček, PhD.<sup>2</sup>, MUDr. Zuzana Gešvandtner Trabalková, MPH<sup>1</sup>, MUDr. Daniel Evin, PhD.<sup>2</sup>, MUDr. Martin Števík, PhD.<sup>1</sup>, doc. MUDr. Kamil Zeleňák, PhD., FCIRSE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rádiologická klinika JLF UK a UNM, Martin

<sup>2</sup>Klinika nukleárnej medicíny JLF UK a UNM, Martin

Smrť mozgu zostáva klinickou diagnózou, vo väčšine prípadov založenou na klinickej diagnostike. Doplnkové testy vrátane zobrazovacích vyšetrení sa používajú na potvrdenie absencie cerebrálnej perfúzie, keď sú klinické nálezy nejednoznačné. Zobrazovacie metódy ako DSA, perfúzna scintigrafia a transkraniálny Doppler môžu poskytnúť kľúčové, zákonom vyžadované údaje na podporu diagnózy. Napriek prebiehajúcim snahám neexistuje celosvetový konsenzus o optimálnom doplnkovom teste a prax sa líši podľa regiónov. Moderné vyšetrenia ako CT angiografia (CTA), MR techniky, CT perfúzia a časovo invariantná CTA ponúkajú stále presnejšie výstupy. Je však potrebná ich ďalšia validácia, zvlášť v prípade pediatrických pacientov. Včasná diagnóza smrti mozgu minimalizuje zbytočné výkony a umožňuje následný efektívny transplantačný program.

**Kľúčová slova:** smrť mozgu, konfirmačné testy, DSA, scintigrafia, CTA.

## Brain death diagnosis and the role of diagnostic imaging

Brain death remains a clinical diagnosis, based mainly on clinical criteria. Ancillary tests, including diagnostic imaging, are used to confirm the absence of cerebral perfusion when clinical findings are inconclusive. Imaging methods like DSA, perfusion scintigraphy and transcranial Doppler can provide critical, legally required data to support the diagnosis. Despite ongoing efforts, there is no global consensus on the optimal ancillary test, with practices varying by the region. Modern techniques like CT angiography (CTA), MR imaging, CT perfusion and time-invariant CTA, offer increasingly accurate outcomes. However, further validation is needed, particularly for pediatric patients. Early brain death diagnosis is crucial to avoid unnecessary interventions and to support timely organ transplantation.

**Key words:** brain death, ancillary tests, diagnostic imaging, DSA, scintigraphy, CTA.

## Úvod

Napriek etickým a náboženským otázkam je koncept smrti mozgu v súčasnosti široko akceptovaný, či už konceptuálne, alebo právne, hoci sa protokoly pre jeho definíciu medzi jednotlivými krajinami líšia (Martinková et al., 2015). Klinické určenie smrti mozgu v Slovenskej republike vyžaduje stanovenie ireverzibilnej etiológie kómy, absenciu reflexov mozgového kmeňa a apnoe. Zároveň sa

vyžaduje absencia dočasných alebo trvalých kontraindikácií v prípadoch, ako sú akútna intoxikácia, kombinácia miechovej lézie a intoxikácie, primárna hypotermia, metabolický a endokrinný rozvrat (zákon č. 576/2004, odborné usmernenie č. 28610/2006-OZSO).

S cieľom formulovať konsenzuálne vyhlásenie odporúčaní týkajúcich sa určenia smrti mozgu vznikla iniciatíva *The World Brain Death Project* (WBDP) (Greer et al., 2020), kto-

## DECLARATIONS:

### Declaration of originality:

The manuscript is original and has not been published or submitted elsewhere.

### Ethical principles compliance:

The authors attest that their study was approved by the local Ethical Committee and is in compliance with human studies and animal welfare regulations of the authors' institutions as well as with the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects adopted by the 18<sup>th</sup> WMA General Assembly in Helsinki, Finland, in June 1964, with subsequent amendments, as well as with the ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, updated in December 2018, including patient consent where appropriate.

### Conflict of interest:

Not applicable.

### Consent for publication:

Not applicable.

Cit. zkr: *Neurol. praxi.* 2025;26(2):122-128

<https://doi.org/10.36290/neu.2025.005>

Článok prijat redakci: 5. 11. 2024

Článok prijat k publikaci: 17. 1. 2025

MUDr. Martin Vorčák

[martin.vorcak@uniba.sk](mailto:martin.vorcak@uniba.sk)

rá by mala slúžiť na usmernenie odborných spoločností a krajín pri revízii alebo vypracovaní diagnostických protokolov a postupov. Zaoberá sa aj odporúčaniami a návrhmi doplnkových vyšetrovacích metód (Greer et al., 2020). Väčšina doplnkových vyšetrení je navrhnutá buď na potvrdenie absencie cerebrálneho prietoku krvi, alebo neurofyzologickej aktivity mozgu. Výber realizovaného doplnkového vyšetrenia závisí od lokálnych zákonov, technickej a personálnej dostupnosti. Preferencia konkrétneho vyšetrenia nemá celosvetový konsenzus, hoci je zrejmy posun k zobrazovacím vyšetreniam, ktoré potvrdzujú absenciu cerebrálneho prietoku krvi (Greer et al., 2020). V ďalšom texte poskytneme opis techník zobrazenia cerebrálneho prietoku, ich porovnanie a aktuálne používanie.

## Neurozobrazovacie vyšetrenia v diagnostike smrti mozgu

V jednotlivých krajinách sú rozdiely v úlohe neurozobrazovacích metód, pričom viacerí odborníci podporujú ich rutinné vykonávanie. Podporné argumenty takéhoto postupu uvádzajú, že dodatočné testy posilnia výsledky klinického vyšetrenia a aj apnoického testu a tým zvýšia presnosť diagnostiky smrti mozgu. Nedávne preskúmanie 78 národných protokolov zistilo, že 28 % z nich uvádza povinnosť vykonať doplnkový test na posúdenie intrakraniálnej elektrickej aktivity a/alebo prietoku krvi (Lewis et al., 2020). Rovnako aj v Českej republike je podľa legislatívy konfirmačný test potrebný, okrem prípadov s objektívne dokázanou ťažkou štrukturálnou infratentoriálnou léziou (zákon č. 44/2013 Sb.).

Druhá skupina sa prikláňa k názoru, že rutinné konfirmačné vyšetrenia nie sú vo väčšine prípadov potrebné (Greer et al., 2023). Tento názor je podporený skutočnosťou, že senzitivita ani špecifita diagnostických testov na posúdenie absencie intrakraniálnej elektrickej aktivity alebo prietoku krvi nie je stopercentná. V Slovenskej republike, ako aj v ďalších krajinách sa preto konfirmačné vyšetrenia využívajú iba v prípadoch s nejednoznačnými výstupmi klinických testov alebo pri kontraindikáciách na klinické určenie smrti mozgu (zákon č. 576/2004; Greer et al., 2020, 2023; Silver, 2021). Tieto prípady vyplývajú z limitácií a kontraindikácií jednotlivých klinických tes-

tov, ako napríklad anoftalmia, závažný edém orbít, sklér či chemóza, fraktúra bázy a petróznej kosti s poškodením vnútorného alebo stredného ucha, preexistujúca amyotrofická laterálna skleróza alebo závažná senzorická neuropatia, ťažká trauma tváre, ako aj trauma frenického nervu pri vysokých úrazoch krčnej miechy, Lazarov príznak, Babinského príznak a iné prípady bližšie uvedené v odkazoch (Martinková et al., 2015; Greer et al., 2020). V zahraničí sa použitie testu pripúšťa aj ako podpora na pochopenie klinického potvrdenia smrti mozgu pre rodinu zosnulého, ktorá nerozumie alebo neprijíma túto diagnózu (Greer et al., 2020; Thomas et al., 2023). Aj keď je doplnkové vyšetrenie jednoznačne indikované, neurologické vyšetrenia a apnoický test by sa mali vykonať v čo možno najväčšom rozsahu a všetky zistenia musia byť v súlade s diagnózou smrti mozgu (Greer et Lewis et Kirschen, 2024).

Young et al. opísali vlastnosti ideálneho doplnkového testu (Young et al., 2006). Spoľahlivý test by mal spĺňať všetky kritériá uvedené v tabuľke 1. Neurozobrazovacie metódy používané ako konfirmačné testy zastavenie mozgovej cirkulácie pri diagnóze smrti mozgu zhrňa tabuľka 2.

Spoločnou nevýhodou testov smrti mozgu založených na dôkaze zlyhania mozgovej cirkulácie sú situácie, pri ktorých zvýšenie intrakraniálneho tlaku nemusí viesť k zastaveniu cerebrálneho prietoku. Takýto jav môže nastať pri vyššie spomínanej katastrofálnej patológii mozgového kmeňa, alebo alternatívne, keď je zvýšenie tlaku nejakým spôsobom kompenzované. Vďaka otvoreným fontanelám a mäkkej deformovateľnej lebke je takýto jav bežný u dočiat. Spadajú sem tiež poúrazové stavy lebky umožňujúce dekompresiu, ale aj chirurgické dekompresné výkony a zavedenie komorovej drenáže. V dôsledku týchto situácií môže byť prietok v mozgu udržaný aj napriek nefunkčnosti samotného parenchýmu. Takéto

**Tab. 3.** Prehľad zákonom stanovených potvrdzujúcich vyšetrení v Českej a Slovenskej republike

Česká republika	Slovenská republika
Angiografia mozgových tepien	Angiografia mozgových tepien
Perfúzna scintigrafia mozgu	Perfúzna scintigrafia mozgu
Počítačová tomografická angiografia (CTA)	Sluchové kmeňové evokované potenciály (BEAP)
Transkraniálna dopplerovská ultrasonografia	Elektroencefalografia
Sluchové kmeňové evokované potenciály (BEAP)	

\*hrubým písmom sú vyznačené testy dokazujúce zlyhanie mozgovej cirkulácie

**Tab. 1.** Ideálne vlastnosti konfirmačného testu v diagnostike smrti mozgu

- Keď test potvrdí smrť mozgu, nemal by byť nikto, kto by sa zotavil alebo mal potenciál na zotavenie. Nemali by existovať žiadne falošne pozitívne výsledky.
- Test by mal byť sám o sebe dostatočný na určenie smrti mozgu.
- Test by nemal byť náchylný na vonkajšie alebo vnútorné rušivé faktory, ako sú účinky liekov a metabolické poruchy.
- Test by mal mať štandardizovanú metodiku, techniku a klasifikáciu výsledkov.
- Test by mal byť lacný, bezpečný a ľahko aplikovateľný. Testovanie by nemalo byť obmedzené len na niekoľko terciárnych akademických centier. Malo by byť možné ho aplikovať v akomkoľvek oddelení intenzívnej starostlivosti a metodika by mala byť ľahko zvládnuteľná.

**Tab. 2.** Súhrn konfirmačných testov zlyhania mozgovej cirkulácie pri diagnóze smrti mozgu

- Digitálna subtrakčná angiografia
- Scintigrafické vyšetrenie mozgu
- Angiografia počítačovou tomografiou, CT perfúzne vyšetrenie
- Magnetická rezonancia, magnetická rezonančná angiografia, MR perfúzne vyšetrenie
- Transkraniálna dopplerovská sonografia

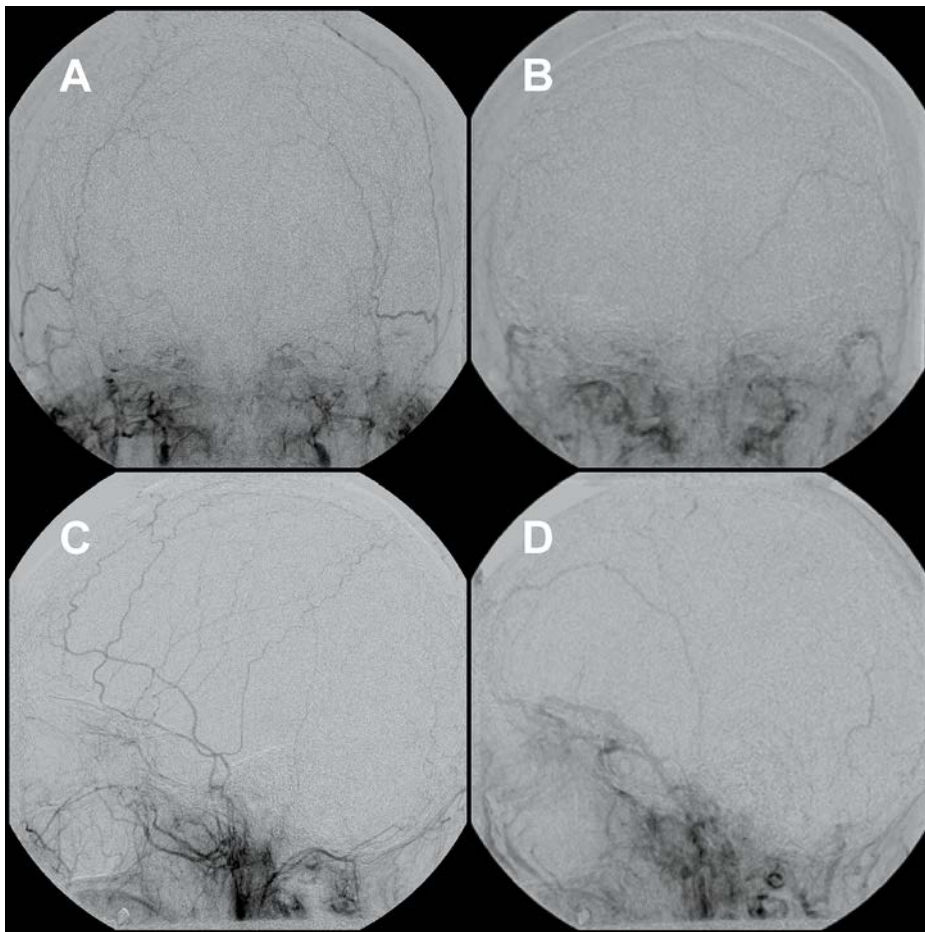
situácie vyústia k falošne negatívnym výsledkom vyšetrení, je nutné ich preto chápať a posudzovať v kontexte kliniky, prípadne zväžiť ďalšie možnosti na potvrdenie smrti mozgu (Heran et Heran et Shemie, 2008).

Prehľad zákonom stanovených potvrdzujúcich vyšetrení na Slovensku a v Čechách je zhrnutý v tabuľke 3.

## Digitálna subtrakčná angiografia (DSA)

Digitálna subtrakčná angiografia, sa napriek stúpajúcemu trendu neinvazívnych konfirmačných vyšetrení, stále považuje za zlatý štandard v dokazovaní smrti mozgu. Jej realizáciu navrhuje aj iniciatíva WBDP a posledné odporúčania z USA (Greer et al., 2020, 2023). Naopak, najnovšie kanadské smernice jej použitie neodporúčajú (Shemie et al., 2023). Môže byť realizovaná nástrekom cez

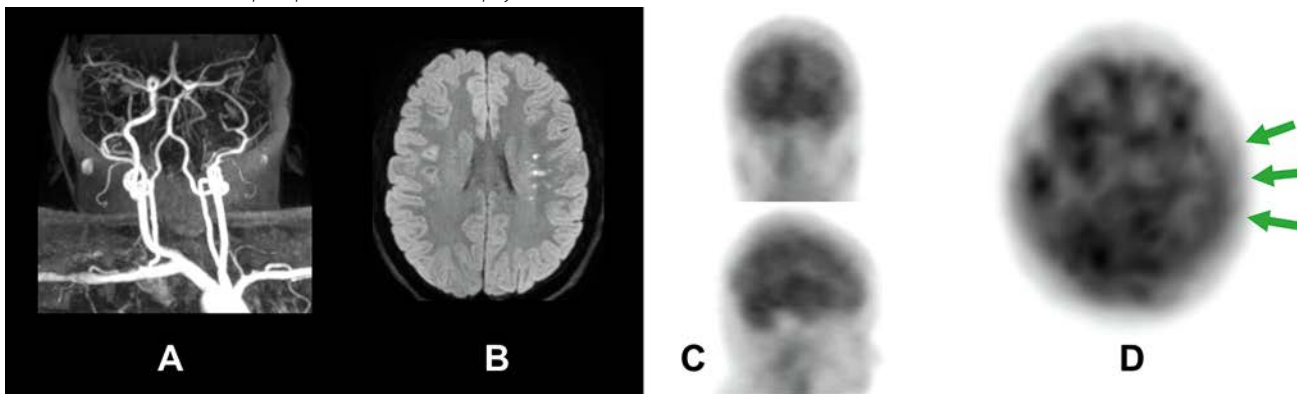
**Obr. 1.** DSA vyšetrenie pri klinickom podozrení na smrť mozgu: AP snímka v arteriálnej (A) a venóznei fáze (B), laterálna snímka v arteriálnej (C) a venóznei fáze (D). Na snímkach je viditeľná náplň vetiev arteria carotis externa, bez náplne v arteria carotis interna a jej vetvách a tiež tepien zadného povodia, čím vyšetrenie spĺňa kritériá zlyhania mozgovej cirkulácie



pigtail katéter v oblasti aortálneho oblúka alebo nástrekom jednotlivých mozgových tepien. V Slovenskej a Českej republike existujú metodické pokyny na jej realizáciu, ktoré sa od seba podstatne nelíšia. Angiograficky je podľa nich smrť mozgu potvrdená, ak sa kontrastnou látkou plnia najviac prvé segmenty intrakraniálnych tepien. Tok v intrakraniálnom

segmente vnútornej krčnej tepny môže byť pozorovaný po oftalmický segment, pretože oftalmická tepna bude naďalej priechodná, aj keď je intrakraniálny tlak veľmi vysoký. V prípade, že smrť mozgu nebola angiografiou potvrdená, neodporúča sa opakovať vyšetrenie skôr než o 12 hodín (Angiografie – metodický pokyn, zákon č. 576/2004).

**Obr. 2.** Obrázok normálnej perfúzie mozgu 31-ročnej pacientky s uzáverom a. carotis interna vľavo po disekcii s neúplným, avšak dobre kolateralizovaným Willisovým okruhom a minimálnymi podkôrovými ischemickými zmenami: MR angiografia (A), MR difúzne vážený trase axiálny rez (B), sumárne scintigrafické obrázky spredu a z boku (C), reprezentatívny axiálny SPECT rez (D). Iba regionálna štatistická analýza potvrdila miernu poruchu kôrovej perfúzie v povodí a. cereberi media vľavo temporoparietálne – zelené šípky



Výhodou angiografie je vysoká – 100% špecifita (Paolin et al., 1995; Greer et al., 2020). Senzitivitu môže ovplyvniť tzv. stasis filing – stagnácia kontrastnej látky v proximálnych mozgových tepnách.

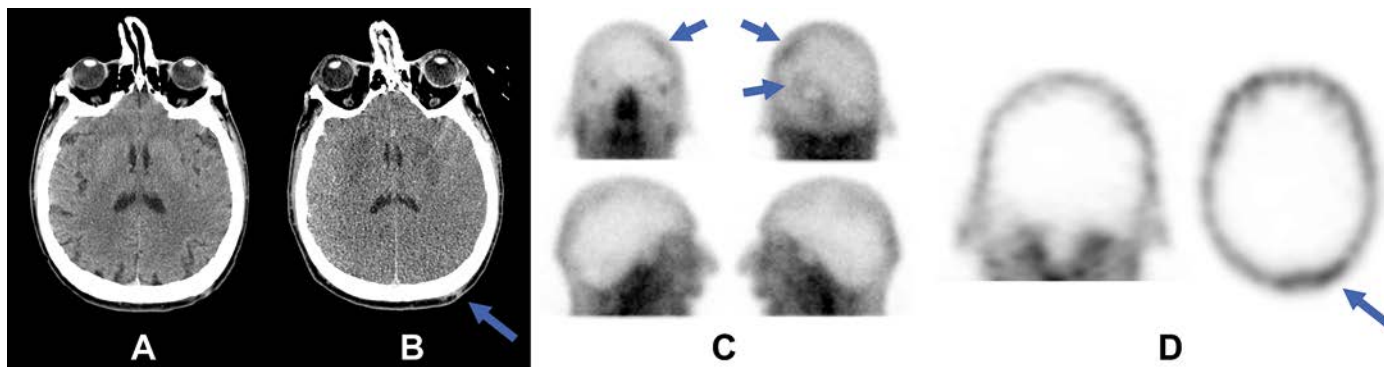
Nevýhody predstavuje invazivita vyšetrenia a aplikácia kontrastnej látky, ktorá môže predstavovať riziko pre pacientov s ochoreniami obličiek. Aplikácia vyšetrenia v situáciách s kompenzovaným intrakraniálnym tlakom (ako kraniektómie a vyššie uvedené klinické situácie) môže viesť k falošne negatívnemu výsledku. Realizácia procedúry vyžaduje skúseného intervenčného rádiológa a jej dostupnosť je preto v mnohých nemocniciach limitovaná.

### Perfúzna scintigrafia mozgu a SPECT

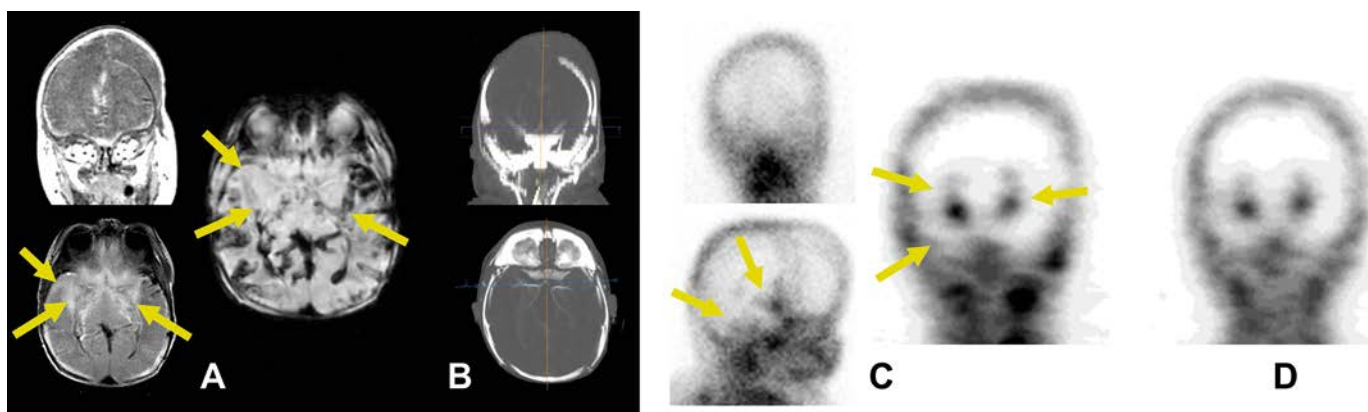
Desaťročia etablovaná metodika nukleárnej medicíny je v súčasnosti odporúčaná predovšetkým vo svojej statickej 2D a 3D zobrazovacej podobe, po intravenóznei aplikácii lipofilných rádiofarmák <sup>99m</sup>Tc-HMPAO alebo <sup>99m</sup>Tc-ECD vychytávajúcich sa v tkanive mozgu priamo úmerne perfúzii (Kapucu et al., 2009).

Výhodou rádionuklidového vyšetrenia je nezávislosť znázornenia funkčného parenchýmu od jeho elektrickej aktivity, ktorá môže vymiznúť iba prechodne napríklad pri intoxikácii liekmi alebo drogami (Nakagawa et al., 2012). Pre smrť mozgu je charakteristický edém nekrotického parenchýmu, ktorý spôsobuje zvýšenie intrakraniálneho tlaku nad úroveň krvného a tým úplné zastavenie perfúzie celého mozgu. Štruktúry mozgu a kmeňa tak v obraze absentujú a naopak výrazný je obraz lebky a okolitých mäkkých tkanív. Radiačná

**Obr. 3.** *Obraz smrti mozgu 49-ročného pacienta s absenciou perfúzie potvrdenou scintigraficky: ide o pacienta po traumatickej transversálnej lézii krčnej miechy so zastavením dýchania, po úspešnej kardiopulmonálnej resuscitácii, s rýchlym rozvojom areflexie a CT verifikovaného edému mozgu (A, B) v priebehu 2 dní, GCS 3. Apnoický test nebol realizovaný z dôvodu lézie miechy. Na planárnych perfúzných scintigramoch (C) vidieť typické vzory „hot nose“ aj „empty bulb“, vľavo parietookcipitálne sa však znázornila nejednoznačne zvýšená akumulácia – modré šípky. Tá zásluhou SPECT snímania (D) lokalizovala jednoznačne mimo priestoru mozgu, do oblasti traumatických reparačných zmien podkožia a lebky, nález teda potvrdil smrť mozgu*



**Obr. 4.** *Podkôrová perfúzia u novorodenca po ťažkej pôrodnej asfyxii z dôvodu ruptúry uteru matky, po úspešnej kardiopulmonálnej resuscitácii s následnou umelou pľúcnou ventiláciou, riadenou hypotermiou a katecholaminovou podporou: v priebehu prvého týždňa sa vyvinul klinický obraz hlbokoj areaktívnej kómy s vyhasnutím všetkých kmeňových reflexov, GCS 3. Počas ďalších 2 týždňov boli realizované opakované EEG a zobrazovacie konfirmačné vyšetrenia smrti mozgu. Napriek herniácii mozgu cez veľkú fontanelu a početným hemorágiám (A – MR MPR zobrazenie vo frontálnom, FLAIR a susceptibilita v axiálnom reze) CT angiografia ukázala prítok intrakraniálnym cievny m riečiskom (B). V planárnych aj 3D perfúzných SPECT obrazoch vidieť jednoznačnú akumuláciu v podkôrových štruktúrach spolu s reziduálnym obrazom kôry pravého temporálneho laloka (C, žlté šípky). Nález sa s odstupom 2 dní významne nezmenil (D). Dieťa zomrelo na sepsu necelé 2 týždne po prvom scintigrafickom vyšetrení pri stále zachovanej, hoci výrazne patologickej, EEG aktivite*



záťaž vyšetrenia je minimálna a v porovnaní s angiografickými metódami perfúzna scintigrafia nezaťažuje orgány potenciálneho darcu kontrastnou látkou.

Keďže perfúzna scintigrafia sa používa aj na hodnotenie porúch prekrvenia mozgu u bežných neurologických pacientov s normálnym intrakraniálnym tlakom, ako aj negatívnymi, prípadne nejednoznačnými MR a CT nálezmi vrátane angiografických (Obr. 2), jej výstupy musia byť jednoznačné už na základe kvalitatívneho hodnotenia, aby bola zabezpečená 100% špecifita pre prípady smrti mozgu. Kvalitatívne je na statických scintigramoch pri smrti mozgu zobrazená jednoznačná absencia perfúzie v celom intrakraniálnom priestore mozgu pri zachovanej perfúzii v lebke a okolitých mäkkých tkanivách, pripomínajúc tak žiarovku

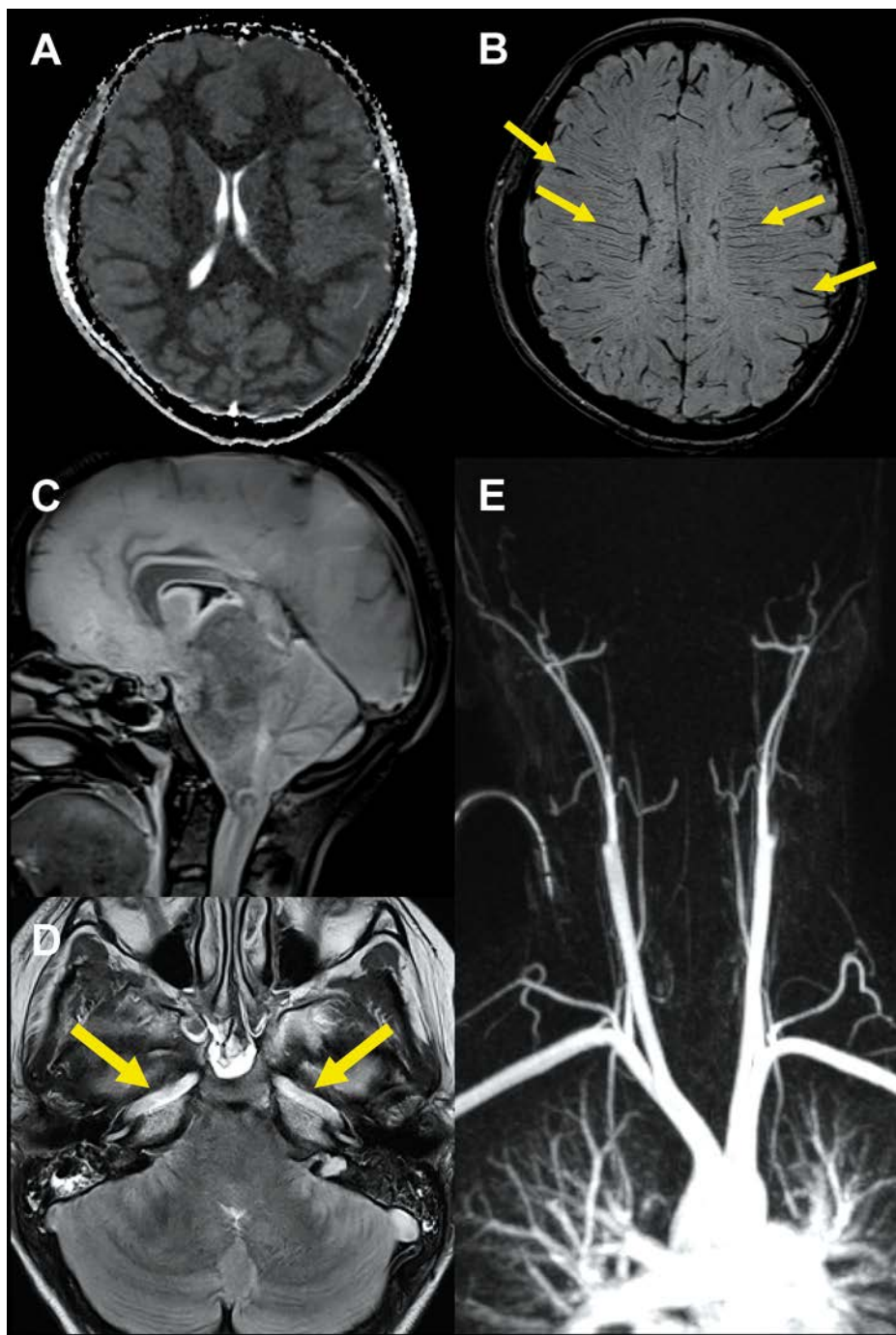
– príznak „empty bulb“. Rádiofarmakum sa naopak často vychytáva v abnormálne vysokých relatívnych koncentráciách v tkanivách zásobených a. carotis externa, hlavne okolo nosovej dutiny – príznak „hot nose“. Obidva príznaky sú zreteľné už v 2D (planárnych) záznamoch, ktoré by mali byť nasledované špecifickjším SPECT snímaním (Obr. 3). Planárne záznamy totiž niekedy nedokážu spoľahlivo potvrdiť absenciu perfúzie v zadnej jame z dôvodu jej sumácie s prekrvenými štruktúrami splanchnokrania a krku, prípadne je obraz modifikovaný traumaticky podmieneným zvýšením prekrvenia mäkkých tkanív alebo skeletu hlavy. Trojrozmerné SPECT zobrazenie tieto prípady spoľahlivo odliší (Obr. 3).

Úskalia scintigrafie ako konfirmačného testu smrti mozgu spočívajú predovšetkým

v malom počte diagnostických pracovísk, ktoré vyšetrenie realizujú, navyše často bez pohotovostného režimu mimo obvyklého denného pracovného času.

V pediatickej populácii novorodencov a dojčiat môže byť vyšetrenie negatívne aj v prípade jednoznačného infaustného stavu, hlavne z dôvodu veľkej poddajnosti kalvy pri neuzavretých švoch a fontanelách (Sekar, 2007). Intrakraniálny tlak často nestúpne na úroveň, pri ktorej úplne zablokuje perfúziu najviac prekrvených typicky podkôrových štruktúr, čo vedie k ich zobrazeniu, a teda nesplneniu konfirmačného kritéria (Obr. 4). Podobné dôsledky môžu mať dekompresné alebo drenážne terapeutické procedúry u starších pacientov. U nich však nálezy väčšinou rýchlo progredujú k jednoznačnému obrazu absencie perfúzie a negatívne vyše-

**Obr. 5.** MR vyšetrenie u pacienta s potvrdenou smrťou mozgu: difúzne zníženie signálu na ADC mapách, edém mozgového tkaniva (A), SWI vážený obraz s obojstranným „transcortical“ a „transcerebral vein sign“ podmienený vyšším obsahom deoxyhemoglobínu pri zvýšenej extrakcii kyslíka z krvi (B), obraz okcipitálneho kónusu (C), chýbajúci „flow void“ pri chýbajúcom toku v arteria carotis interna (D), CEMRA vyšetrenie mozgových tepien – zobrazený prietok v arteria carotis externa s chýbajúcim prietokom v arteria carotis interna, mozgu a tepien zadného povodia (E)



trenie sa preto odporúča s niekoľkodňovým odstupom opakovať (Flowers et Patel, 2000; Zuckier et Kolano, 2008). Keďže boli publikované aj prípady so scintigraficky znázornenou perfúziou mozgu pri klinicky jednoznačnom dôkaze afunkcie mozgového kmeňa u pediatrických pacientov (Toffol et al., 1987), neexistuje na indikovanie tohto vyšetrenia u detí jednoznačný konsenzus.

### Počítačová tomografia (CT)

**Natívne CT** vyšetrenie mozgu môže poskytnúť dôkazy o nezvratnom poškodení mozgu a o primárnej intrakraniálnej udalosti, ktorá spôsobila smrť mozgu. Keďže CT je všeobecne dobre dostupné, často sa používa ako počiatočné vyšetrenie u pacientov v kóme. Americké odporúčania zahŕňajú neurozobrazovanie u komatóznych pacientov ako ne-

vyhnutný predpoklad na hodnotenie smrti mozgu (Greer et al., 2023). V dôkaze smrti mozgu však má natívne CT ako konfirmačný test nízku špecifickosť a senzitivitu (73 % a 32 %) a na tento účel ho teda nie je možné použiť (MacDonald et Stewart-Perrin et Shankar, 2018).

### CT angiografia (CTA)

CTA sa ujala ako vyvíjajúca sa neinvazívna technika na dôkaz zlyhania mozgovej cirkulácie. Využívajú ju mnohé európske aj svetové krajiny (Austrália, Česko, Francúzsko, Holandsko, Kanada, Nemecko, Poľsko, Španielsko, Švajčiarsko, Veľká Británia) (Lewis et al., 2021). V Českej republike jej realizáciu určuje metodický pokyn (Heřman, 2020). Naopak, niektoré odporúčania sa použitiu CTA vyhýbajú a navrhujú sa jej venovať ako potenciálnemu testu po podrobnejšom preskúmaní (Greer et Lewis et Kirschen, 2024; Cohen et Katvan et Ashkenazi, 2022). Jej výhody sú najmä rýchlosť, neinvazívnosť, dostupnosť, technická a finančná nenáročnosť. Rovnako má vysoké priestorové a časové rozlíšenie a je relatívne nezávislá od hodnotiaceho lekára. Nevýhodou je rovnako ako pri DSA potreba podania kontrastnej látky. Vyšetrenie môže mať navyše veľké rozdiely v senzitivite z dôvodov veľkej nesúrodosti pri realizácii, protokoloch a aj hodnotení vyšetrenia medzi jednotlivými diagnostickými centrami.

V novších publikáciách dosahuje senzitivita v závislosti od použitého skórovacieho systému 67,1–96,3 % (Bohatyrewicz et al., 2021), pričom najvyššia hodnota bola vo viacerých publikáciách zaznamenaná pri používaní novších, 4-bodových systémov ako modifikované Frampas skóre (Bohatyrewicz et al., 2021; Zampakis et al., 2021). Na zvýšenie senzitivity sa tiež odporúča realizovať CTA v dvoch fázach (Arsava et al., 2022). Rovnako sa odporúča dodržať časový odstup realizácie vyšetrenia od klinického podozrenia na smrť mozgu viac ako 6 hodín (Kerhuel et al., 2016; Basil et al., 2019). Senzitivita vyšetrenia bez ohľadu na použitý skórovací systém klesá pri vážnejšej kraniotraume s porušením celistvosti lebky a po dekompresívnej operácii (do 75 %) (Zampakis et al., 2021). Vyšetrenie sa nehodnotilo na detských pacientoch, je-

dine poľské odporúčania stanovujú vek jeho použitia od 12. roku života (Bohatyrewicz et al., 2021). Technologický rozvoj CT prístrojov umožnil realizáciu tzv. časovo invariantnej CTA (*time-invariant* – TI-CTA), ktorá poskytuje angiografiu prekrytím všetkých časových rámcov a zobrazuje maximálne zvýraznenie tepien počas perfúzneho CT vyšetrenia. Znamená to, že maximálne zvýraznenie ciev sa zobrazí nezávisle od času príchodu kontrastnej látky. Preto TI-CTA nie je citlivá na oneskorený príchod kontrastnej látky do mozgových ciev, takže by mala zobrazovať každú priechodnú cievu (Smit et al., 2012). So zvyšujúcou sa dostupnosťou moderných CT prístrojov sa používanie perfúzneho CT a TI-CTA rozširuje a nahrádza štandardnú CTA techniku (Bohatyrewicz et al., 2021; Sawicki et al., 2017, 2018).

### Perfúzna počítačová tomografia (CTP)

CT perfúzia je pokročilá technika CT vyšetrenia, ktorá poskytuje ako anatomické, tak aj funkčné informácie o mozgu. CTP sa bežne používa na hodnotenie cerebrálnej ischémie a vaskularizácie mozgových nádorov a má priestorové rozlíšenie umožňujúce kvantifikáciu perfúzie v akejkoľvek vybranej časti mozgu. Rovnako ako CTA, aj CTP je široko dostupný nástroj, a vďaka dostupnosti automatizovaného softvéru môžu byť CTP výstupy takmer nezávislé od hodnotiaceho lekára. Výhodou CTP je, že ho možno vykonať spolu s CTA. Aplikácia kontrastnej látky pri CTP predstavuje určité riziko poškodenia obličiek. Zaslúhou menšieho objemu použitej kontrastnej látky je však pravdepodobnosť významnej nefrotoxicity veľmi malá. CTP dosahuje vysokú senzitivitu a špecificitu (98–100 % a 100 %) (Sawicki et al., 2017; Neves Briard et al., 2023), na základe ktorých ju odporúčajú viaceré odborné spoločnosti (Shemie et al., 2023; Bohatyrewicz et al., 2021). Predpokladá sa, že by mohla byť v budúcnosti schválená aj WBDP (Greer et al., 2020).

### Magnetická rezonancia (MRI)

MRI je neinvazívna a presná modalita pri identifikácii štruktúrnych abnormalít mozgu. V bežnej praxi má MRI oproti CT niekoľko **nevýhod**: je časovo náročnejšia, nie je tak

široko dostupná a je ťažšie ju vykonať u kriticky chorých pacientov a pacientov na mechanickej ventilácii.

Orison et al. ako prví identifikovali 6 znakov na MRI u pacientov so smrťou mozgu: 1) transtentoriálna a tonzilárna herniácia, 2) chýbajúci „*flow void*“ v mozgových cievach, 3) dediferenciácia sivej a bielej hmoty, 4) absencia postkontrastného intrakraniálneho sýtenia, 5) postkontrastné sýtenie tepien („*intravascular enhancement sign*“) a 6) výrazné postkontrastné sýtenie nosa („*hot nose sign*“) (Orison et al., 1994). Ďalšie parametre zakomponované do diagnostiky sú DWI, ktoré ukazuje difúzne zníženie hodnôt ADC v bielej aj sivej hmote (Kumada et al., 2001), a SWI, kde nachádzame tzv. „*transcerebral*“ a „*transcortical vein sign*“ (Sohn et al., 2021). Treba mať na pamäti, že žiaden z týchto MRI znakov nie je patognomický pre smrť mozgu, keďže sa môžu vyskytovať aj v iných prípadoch, ako napríklad pri závažnom hypoxicko-ischemickom poškodení mozgu (Correa et al., 2022). V metaanalýze realizovanej autormi Briard et al. malo MR vyšetrenie v dokazovaní smrti mozgu zastúpenie okolo 2–3 % z konfirmačných testov (Briard et al., 2023). „*Time of flight*“ MRA, dynamická kontrastná MRA a MR perfúzne vyšetrenie sa tiež využívajú na dôkaz zlyhania mozgovej cirkulácie, avšak na validáciu týchto testov ako konfirmačných na rutinné používanie na dôkaz smrti mozgu je potrebný ďalší výskum, čo uvádzajú aj aktuálne publikované odporúčania (Greer et al., 2020; Shemie et al., 2023; Greer et al., 2023).

### Transkraniálny dopplerovský ultrazvuk (TCD)

Základom stanovenia smrti mozgu pomocou TCD je vyšetrenie prietoku intrakraniálnych tepien cez temporálne kostné okno, obojstranne subokcipitálne a prípadne obojstranne transorbitálne okno (Školoudík, 2017). K jeho **výhodám** patria rýchlosť, minimálna invazivita, finančná nenáročnosť, možnosť opakovania, možnosť vykonania pri lôžku pacienta, čo je dôležité pri použití u nestabilných pacientov. **Nevýhody** predstavuje dostupnosť, vysoká závislosť od operátora, špecifický tréning (Gastala et al., 2019). Slabou stránkou je tiež, že približne u 10 % dospelých je realizácia TCD pre

hrúbku lebky technicky neúspešná (AIUM, 2023). Používanie ultrazvuku ako doplnkového testu pri stanovení smrti mozgu odporúča u dospelých iniciatíva WBDP v USA, Kanade a mnohých európskych krajinách vrátane Českej republiky. Metodiku vyšetrenia so špecifickými parametrami ako preukázanie reverberačného toku, tiež nazývané „*to-and-fro*“ vzorec, krátke systolické hroty alebo úplné vymiznutie prietoku v intrakraniálnych tepnách podrobne opisuje publikovaný pokyn (Tomek et al., 2016). Opisovaná senzitivita v publikáciách varíruje, posledné údaje z Nemecka udávajú hodnotu 82,2 % (Hoffman et Sali et Masuhr, 2024). Senzitivita stúpa s odstupom času od klinickej diagnózy, pričom do 6 hodín dosahuje 58 % a do 36 hodín až 100 % (Kuo et al., 2006). Niektoré krajiny používajú ultrazvuk ako metódu predchádzajúcu CTA, keď sa pomocou TCD zníži čas do realizácie CTA a zároveň zníži počet negatívnych CTA vyšetrení (SFN et SFR et AB, 2011).

### Záver

Včasná a správne rozpoznanie smrti mozgu je dôležité na zabránenie zbytočným intervenciám, pomôže potvrdiť a pochopiť stav aj rodinným príslušníkom pacienta, zlepšuje úspešnosť transplantácie orgánov a šetrí zdravotnícke zdroje. Smrť mozgu zostáva klinickou diagnózou. Na potvrdenie smrti mozgu však okrem klinických testov existujú aj konfirmačné vyšetrenia, z ktorých sú v súčasnosti používané najmä zobrazovacie – preukazujúce zlyhanie mozgovej cirkulácie. Realizácia a výber konfirmačného vyšetrenia musí zodpovedať miestnym zákonom. Napriek snahám o konsenzus aktuálne celosvetovo neexistuje jedno univerzálne vyšetrenie a použitie jednotlivých vyšetrení je ovplyvnené aj dostupnosťou a zvyklosťami konkrétneho pracoviska. V našich podmienkach sa odporúčania a z nich vyplývajúca legislatíva prikláňajú k DSA a perfúznej scintigrafii, ktorá môže byť zároveň indikovaná aj u detského pacienta. Neinvazívna CT a MR diagnostika má sľubnú budúcnosť, najmä v oblasti perfúzných vyšetrení, ktoré majú už dnes preukázanú vysokú presnosť. Na validáciu ich úplného využitia sú však potrebné ďalšie klinické a aj právne kroky.

**LITERATÚRA**

1. Angiografie mozgových tepen pro stanovení smrti mozku – metodický pokyn. Dostupné na: [http://www.csir.cz/files/documents/ag\\_mozgovych\\_tepen\\_pro\\_stanoveni\\_smrti\\_mozku.pdf](http://www.csir.cz/files/documents/ag_mozgovych_tepen_pro_stanoveni_smrti_mozku.pdf).
2. Arsava EM, Ayvacioglu Cagan C, Gumeler E, Parlak S, et al. Comparison of early- and late-phase CT angiography findings in brain death. *J Neurol*. 2022;269(11):5973-5980. doi: 10.1007/s00415-022-11281-x.
3. Bohatyrewicz R, Pastuszka J, Walas W, et al. Implementation of Computed Tomography Angiography (CTA) and Computed Tomography Perfusion (CTP) in Polish Guidelines for Determination of Cerebral Circulatory Arrest (CCA) during Brain Death/Death by Neurological Criteria (BD/DNC) Diagnosis Procedure. *J Clin Med*. 2021;10(18):4237. doi: 10.3390/jcm10184237.
4. Brasil S, Bor-Seng-Shu E, de-Lima-Oliveira M, et al. Computed tomography angiography accuracy in brain death diagnosis. *J Neurosurg*. 2019 Sep 27;133(4):1220-1228. doi: 10.3171/2019.6.JNS191107. PMID: 31561215.
5. Neves Briard J, Nitulescu R, Lemoine É. Diagnostic accuracy of ancillary tests for death by neurologic criteria: a systematic review and meta-analysis. *Can J Anaesth*. 2023;70(4):736-748. doi: 10.1007/s12630-023-02426-1.
6. Cohen JD, Katvan E, Ashkenazi T. Brain Death Determination in Israel: The First 9 Years of Experience Following Changes Made by the Brain and Respiratory Death Determination Law. *Isr Med Assoc J*. 2022;24(8):524-528.
7. Corrêa DG, de Souza SR, Nunes PGC, et al. The role of neuroimaging in the determination of brain death. *Radiol Bras*. 2022;55(6):365-372. doi: 10.1590/0100-3984.2022.0016.
8. Flowers WM Jr, Patel BR. Persistence of cerebral blood flow after brain death. *South Med J*. 2000;93(4):364-70. doi:10.1097/00007611-200004000-00003
9. Gastala J, Fattal D, Kirby PA, et al. Brain death: Radiologic signs of a non-radiologic diagnosis. *Clin Neurol Neurosurg*. 2019;185:105465. doi:10.1016/j.clineuro.2019.105465.
10. Greer DM, Kirschen MP, Lewis A, et al. Pediatric and Adult Brain Death/Death by Neurologic Criteria Consensus Guideline. *Neurology*. 2023;101(24):1112-1132. doi:10.1212/WNL.0000000000207740.
11. Greer DM, Lewis A, Kirschen MP. New developments in guidelines for brain death/death by neurological criteria. *Nat Rev Neurol*. 2024;20(3):151-161. doi: 10.1038/s41582-024-00929-z.
12. Greer DM, Lewis A, Kirschen MP. New developments in guidelines for brain death/death by neurological criteria. *Nat Rev Neurol*. 2024 Mar;20(3):151-161. doi: 10.1038/s41582-024-00929-z. Epub 2024 Feb 2. PMID: 38307923.
13. Greer DM, Shemie SD, Lewis A, et al. Determination of brain death/death by neurologic criteria: the world brain death project. *JAMA*. 2020;324(11):1078-1097. doi: 10.1001/jama.2020.11586. PMID: 32761206.
14. Heran MK, Heran NS, Shemie SD. A review of ancillary tests in evaluating brain death. *Can J Neurol Sci*. 2008;35(4):409-419. doi: 10.1017/s0317167100009069. PMID: 18973057.
15. Heřman M. CT angiografie tepen zásobujících mozek pro stanovení smrti mozgu u dárců orgánů. *Ces Radiol*. 2020;74(4):235-237.
16. Hoffmann O, Salih F, Masuhr F. Computed tomography angiography in the diagnosis of brain death: Implementation and results in Germany. *Eur J Neurol*. 2024;31(4):e16209. doi: 10.1111/ene.16209.
17. Kapucu OL, Nobili F, Varrone A, et al. EANM procedural guideline for brain perfusion SPECT using 99mTc-labeled radiopharmaceuticals, version 2. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2009;36(12):2093-102. doi: 10.1007/s00259-009-1266-y.
18. Kerhuel L, Srairi M, Georget G. The optimal time between clinical brain death diagnosis and confirmation using CT angiography: a retrospective study. *Minerva Anestesiol*. 2016;82(11):1180-1188.
19. Kumada K, Fukuda A, Yamane K, et al. Diffusion-weighted imaging of brain death: study of apparent diffusion coefficient. *No To Shinkei*. 2001;53(11):1027-31.
20. Kuo JR, Chen CF, Chio CC et al. Time dependent validity in the diagnosis of brain death using transcranial Doppler sonography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006;77:646-649.
21. Lewis A, Bakkar A, Kreiger-Benson E, et al. Determination of death by neurologic criteria around the world. *Neurology*. 2020;95(3):e299-e309. doi:10.1212/WNL.0000000000009888.
22. Lewis A, Liebman J, Kreiger-Benson E, et al. Ancillary Testing for Determination of Death by Neurologic Criteria Around the World. *Neurocrit Care*. 2021;34(2):473-484. doi:10.1007/s12028-020-01039-6.
23. MacDonald D, Stewart-Perrin B, Shankar JJS. The Role of Neuroimaging in the Determination of Brain Death. *J Neuroimaging*. 2018;28(4):374-379. doi: 10.1111/jon.12516.
24. Martinková J, Chrastina M, Cingelová M, et al. Mozgová smrť – medicínske aspekty, legislatívne normy v Slovenskej republike. *Neurol. praxi*. 2015;16(3):140-143.
25. Nakagawa TA, Ashwal S, Mathur M, et al. Guidelines for the determination of brain death in infants and children: an update of the 1987 task force recommendations-executive summary. *Ann Neurol*. 2012;71(4):573-85. doi: 10.1002/ana.23552.
26. Neves Briard J, Nitulescu R, Lemoine É, et al. Diagnostic accuracy of ancillary tests for death by neurologic criteria: a systematic review and meta-analysis. *Can J Anaesth*. 2023;70(4):736-748. doi: 10.1007/s12630-023-02426-1. Epub 2023 May 8. PMID: 37155120; PMCID: PMC10202988.
27. Orrison WW Jr, Champlin AM, Kesterson OL, et al. MR 'hot nose sign' and 'intravascular enhancement sign' in brain death. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1994;15(5):913-6.
28. Paolin A, Manuali A, Di Paola F, et al. Reliability in diagnosis of brain death. *Care Med*. 1995;21(8):657-62. doi: 10.1007/BF01711544.
29. Sawicki M, Solec-Pastuszka J, Chamier-Ciemirska K, et al. Computed Tomography Perfusion is a Useful Adjunct to Computed Tomography Angiography in the Diagnosis of Brain Death. *Clin Neuroradiol*. 2019;29(1):101-108. doi: 10.1007/s00062-017-0631-7.
30. Sawicki M, Solec-Pastuszka J, Chamier-Ciemirska K. Accuracy of Computed Tomographic Perfusion in Diagnosis of Brain Death: A Prospective Cohort Study. *Med Sci Monit*. 2018 May 4;24:2777-2785. doi: 10.12659/MSM.906304. PMID: 29727439; PMCID: PMC5957092.
31. Sekar KC. Brain death in the newborn. *J Perinatol*. 2007;27(1):59-62. doi:10.1038/sj.jp.7211718.
32. Shemie SD, Wilson LC, Hornby L, et al. A brain-based definition of death and criteria for its determination after arrest of circulation or neurologic function in Canada: a 2023 clinical practice guideline. *Can J Anaesth*. 2023;70(4):483-557. doi: 10.1007/s12630-023-02431-4.
33. Silvester W, Bevan R, Brieve J, et al. The ANZICS statement on death and organ donation. 4.1 ed. Camberwell: Australian and New Zealand Intensive Care Society (ANZICS). 2021; 68 s.
34. Smit EJ, Vonken EJ, van der Schaaf IC, et al. Timing-invariant reconstruction for deriving high-quality CT angiographic data from cerebral CT perfusion data. *Radiology*. 2012;263(1):216-25. doi: 10.1148/radiol.11111068.
35. Société Française de Neuroradiologie; Société Française de Radiologie; Agence de la Biomédecine. Recommandations sur les critères diagnostiques de la mort encéphalique par la technique d'angioscanner cérébral [Recommandations on diagnostic criteria of brain death by the technique of CT angiography]. *J Neuroradiol*. 2011;38(1):36-9. doi: 10.1016/j.neurad.2011.01.001.
36. Sohn CH, Lee HP, Park JB, et al. Imaging findings of brain death on 3-tesla MRI. *Korean J Radiol*. 2012;13(5):541-9. doi: 10.3348/kjr.2012.13.5.541.
37. Školoudík D. Diagnostika smrti mozku pomocí transkraniální dopplerometrie a transkraniální duplexní sonografie. *Neurol. praxi*. 2017;18(4):244-247.
38. The American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) Practice Parameter for the Performance of Transcranial Doppler Ultrasound. *J Ultrasound Med*. 2023;42(9):E36-E44. doi:10.1002/jum.16234.
39. Thomas EO, Manara A, Dineen RA, et al. The use of cerebral computed tomographic angiography as an ancillary investigation to support a clinical diagnosis of death using neurological criteria: a consensus guideline. *Anaesthesia*. 2023;78(3):330-336. doi:10.1111/anae.15950.
40. Toffol JG, Lansky LL, Hughes JR, et al. Pitfalls in diagnosing brain death in infancy. *J Child Neurol*. 1987;2(2):134-138. doi: 10.1177/088307388700200209.
41. Tomek A, Školoudík D, Škoda O, et al. Metodika stanovení smrti mozku pomocí transkraniální sonografie vypracovaná Neurosonologickou komisí a Cerebrovaskulární sekci České neurologické společnosti ČLS JEP. *Cesk Slov Neurol N*. 2016;79/112(5):608-611.
42. Young GB, Shemie SD, Doig CJ, et al. Brief review: The role of ancillary tests in the neurological determination of death. *Canadian Journal of Anesthesia*. 2006;53(6):620-627. doi: 10.1007/BF03021855.
43. Zákon č. 44/2013 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 285/2002 Sb., o darování, odběrech a transplantacích tkání a orgánů a o změně některých zákonů (transplantační zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony.
44. Zákon č. 576/2004 Z. z. o zdravotnej starostlivosti, službách súvisiacich s poskytovaním zdravotnej starostlivosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov. §43.
45. Zampakis P, Panagiotopoulos V, Kalogeropoulou C, et al. Computed tomography angiography scoring systems and the role of skull defects in the confirmation of brain death. *Sci Rep*. 2021;11(1):15081. doi: 10.1038/s41598-021-94763-8.
46. Zuckier LS, Kolano J. Radionuclide studies in the determination of brain death: criteria, concepts, and controversies. *Semin Nucl Med*. 2008;38(4):262-73. doi: 10.1053/j.seminuclmed.2008.03.003.